

模糊自适应 PID 控制器参数整定的研究*

Research on Fuzzy Self Adaptive PID Controller with Parameters Tuning

汤秀芬 (宁夏大学物理电气信息学院, 宁夏 银川 750021)

摘要

主要研究了模糊自适应 PID 控制器参数整定方法,给出了预估计 PID 参数值的经验公式和方法。用 MATLAB 软件对 PID 控制、模糊自适应 PID 控制的控制性能分别进行了仿真研究,结果表明参数模糊自适应 PID 控制具有良好的稳态精度和自适应能力。

关键词:模糊 PID 控制器,参数整定,仿真

Abstract

In this paper, based on the fuzzy self adaptive PID with parameters tuning is developed, the empirical equation and method of estimation PID parameters are given. Simulations of PID control and fuzzy self adaptive PID control concerning their respective control quality are done, simulation shows that the fuzzy self adaptive PID controller has better stability and self adaptive property.

Keywords: fuzzy PID controller, parameters tuning, simulations

本文讨论了基于模糊自适应 PID 控制器参数整定的一种方法,以偏差 e 和偏差变化率 ec 作为输入,根据不同时刻的偏差 e 和偏差变化率 ec 对 PID 参数进行在线自调整,并对其自适应能力进行了仿真与分析。

1 模糊自适应 PID 控制器参数整定原理

1.1 模糊自适应 PID 参数控制策略^[1]

以常规 PID 控制为基础,采用模糊推理方法,根据不同时刻的 e 和 ec 对 PID 参数进行在线自整定。按照这种思想构成的控制系统由两部分组成,即常规 PID 控制部分和模糊推理的参数校正部分,如图 1 所示。模糊推理部分实质就是一个模糊控制器,只不过它的输入是偏差 e 和偏差变化率 ec ,输出是比例系数 K_p 、积分系数 K_i 和微分系数 K_d 。PID 参数模糊自整定是找出 PID 三个参数和偏差 e 、偏差变化率 ec 之间的模糊关系,在系统运行中通过不断检测 e 和 ec ,根据模糊控制原理来对 3 个参数进行在线修改,以满足不同 e 和 ec 时对控制参数的不同要求,从而使被控对象具有良好的动、静态性能。

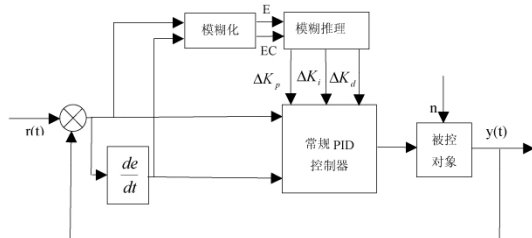


图 1 模糊自适应 PID 控制器的结构框图

常规 PID 控制算法通常采用数字增量方式来描述,见公式

(1)和(2):

$$\Delta u(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (1)$$

$$\text{式中: } K_p = k_p; \quad K_i = k_p \cdot \frac{T}{T_i}; \quad K_d = k_p \cdot \frac{T}{T_d}。$$

$$u(k) = \Delta u(k-1) + \Delta u(k) \quad (2)$$

式中 $u(k)$ 为系统的第 k 采样周期时的控制器的输出值, $e(k)$ 为第 k 采样周期的输入控制系统的偏差值, T 为采样周期。 K_p 、 K_i 和 K_d 是比例系数、积分系数和微分系数。

1.2 模糊自适应 PID 参数整定的原则^[2-3]

从系统的稳定速度、超调量和稳态精度等各方面特性来考虑 K_p 、 K_i 和 K_d 各个参数对控制品质的影响。

比例系数 K_p 的作用在于加快系统的响应速度,提高系统的调节精度。但 K_p 过大,产生超调量和振荡,甚至导致系统不稳定。 K_p 取值过小,则会降低调节精度,使响应速度变慢,从而延长调节时间,使系统静态、动态特性变坏。

积分环节作用系数 K_i 的作用在于消除系统的稳定误差。但 K_i 过大,在响应过程中会产生积分饱和现象,从而引起响应过程出现较大的超调。若 K_i 过小,将使系统静态误差难以消除,影响系统的调节精度。

微分环节作用系数 K_d 的作用在于改善系统的动态特性。其作用主要是在响应过程中抑制偏差向任何方向的变化,对偏差变化进行提前制动,降低超调,增加系统的稳定性,但 K_d 过大,则会使响应过程过分提前制动,从而延长调节时间,而且系统的抗干扰性较差。

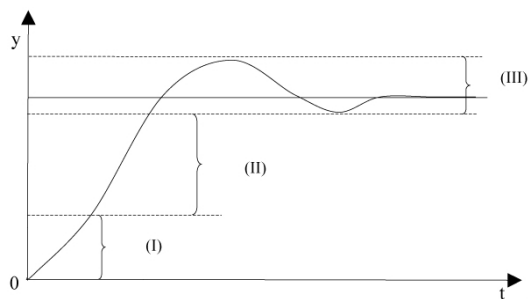


图 2 系统一般响应曲线

PID 参数的整定必须考虑到在不同时刻三个参数的作用以及相互之间的互联关系。根据参数 K_p 、 K_i 和 K_d 对系统输出特性

* 宁夏回族自治区自然科学基金项目:光伏发电系统效率优化问题的研究(NZ1152)

的影响情况,由传统经验和结合系统输出响应曲线图 2 来介绍,在不同的 lel 和 $lecl$ 时,被控过程对参数 K_P 、 K_I 和 K_D 的自整定原则:

1)当 lel 较大时,即响应处于图 2 所示输出响应曲线的第 I 段中时,为了加快系统的响应速度,应取较大的 K_P ;为了避免因开始时偏差 e 的瞬间变大可能引起微分饱和而使控制作用超出许可范围,应取较小的 K_D ,同时为了防止积分饱和,避免系统响应出现较大的超调,应对积分作用加以限制,取 $K_I=0$ 。

2)当 lel 和 $lecl$ 中等大小,即系统响应处于图 2 曲线的第 II 段中时,为了使系统响应具有较小的超调,应取较小的 K_P 值、 K_I 和 K_D 值的大小要适中,以保证系统的响应速度。

3)当 lel 较小,即接近于设定值时,即系统响应处于图 2 曲线的第 III 段中时,为使系统具有良好的稳定性能,应增大 K_P 和 K_I 值,同时为避免系统在设定值附近出现振荡,并考虑系统的抗干扰性能, K_D 的取值相当重要,其原则是:当较 $lecl$ 小时, K_D 取大些,通常取为中等大小;当 $lecl$ 较大时, K_D 应取小些。

2 模糊自适应 PID 控制器参数整定的算法设计

模糊自适应 PID 控制器参数整定是在常规 PID 算法的基础上,在运行中通过不断检测系统偏差 e 和偏差变化率 ec ,利用模糊规则进行模糊推理,查询模糊控制规则表进行在线参数调整,从而使被控对象具有良好的动、静态性能。其设计的核心是总结工程设计人员的技术知识和实际操作经验,建立合适的模糊规则表,针对 K_P 、 K_I 和 K_D 三个参数分别整定。

模糊控制器输入、输出变量的分别为 E 、 EC 和 ΔK_P 、 ΔK_I 、 ΔK_D ,各变量语言值为:{负大,负中,负小,零,正小,正中,正大},记为[NB,NM,NS,ZO,PS,PM,PB],隶属度函数均为灵敏度强的三角函数,论域为 $[6,6]$ 间的整数,如图 3。

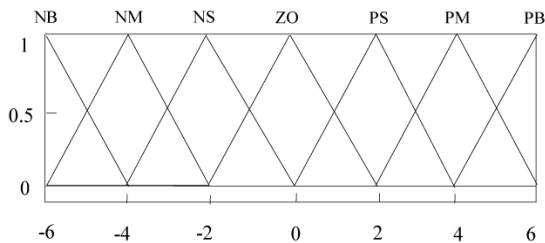


图 3 E 、 EC 和 ΔK_P 、 ΔK_I 、 ΔK_D 隶属度函数

由上述整定规则,通过模糊推理并实验修正,得到 ΔK_P 、 ΔK_I 、 ΔK_D 。模糊控制规则如表 1 所示:

表 1 模糊控制规则表

$\Delta K_P, \Delta K_I, \Delta K_D$		EC						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	NB	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PM/NM/NB	PS/NS/NB	ZO/ZO/NM	ZO/ZO/PS
	NM	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PS/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/ZO/ZO
	NS	PM/NB/ZO	PM/NM/NS	PM/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/PS/NS	NS/PS/ZO
	ZO	PM/NM/ZO	PM/NM/NS	PS/NS/NS	ZO/ZO/NS	NS/PS/NS	NM/PM/NS	NM/PM/ZO
	PS	PS/NM/ZO	PS/NS/ZO	ZO/ZO/ZO	NS/PS/ZO	NS/PS/ZO	NM/PM/ZO	NM/PM/ZO
	PM	PS/ZO/PB	ZO/ZO/NS	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/PM/PS	NM/PM/PS	NB/PB/PB
	PB	ZO/ZO/PB	ZO/ZO/PM	NM/PS/PM	NM/PM/PM	NM/PM/PS	NB/PB/PS	NB/PB/PB

将以上模糊控制表装入计算机控制系统的存储器中,根据偏差 E 和偏差变化率 EC ,查找表中相应的修正参数值 $\{E, EC\}$ 代入下列各式计算:

$$\begin{aligned} K_P &= K_P^* + \{E, EC\}_P \\ K_I &= K_I^* + \{E, EC\}_I \\ K_D &= K_D^* + \{E, EC\}_D \end{aligned} \quad (3)$$

式中: K_P^* 、 K_I^* 和 K_D^* 为 PID 参数的初始值, K_P 、 K_I 和 K_D 为最终应 PID 参数的取值,可见模糊自适应 PID 能够在线调整参数 K_P 、 K_I 和 K_D ,使得这些参数最优,并使系统取得最佳的控制效果。

3 系统的仿真与分析

3.1 PID 参数初值的确定^[4]

PID 参数初值可由预整定得到,有动态特性参数法、衰减曲线法、Ziegler-Nichols 经验公式等整定方法。在 MATLAB/Simulink 环境下,本文采用稳定边界法进行整定,这是一种闭环的整定方法。它基于纯比例控制系统临界振荡试验所得数据,即临界比例增益 K 和临界振荡周期 T ,利用一些经验公式,求取 PID 控制器的最佳数值。具体步骤如下:

1)将 K_I 、 K_D 设为 0; K_P 置较小的值(记为 K),使系统能投入稳定运行;

2)逐渐增大 K_P ,直到系统出现等幅振荡,即所谓的临界振荡过程,记录此时临界振荡增益 K 和临界振荡周期 T ;

3)利用 K 和 T 的值,按下面经验公式(4)计算参数的整定值:

$$\begin{aligned} K_P &= 0.6K \\ T_i &= 0.5T \\ T_D &= 0.125T \end{aligned} \quad (4)$$

本文选用系统对象模型为:

$$G(s) = \frac{1}{2s+1} + \frac{1}{10s+1} + \frac{1}{12s+1} \quad (5)$$

利用稳定边界法得到参数值: $T=20s$ 、 $K=15.5$,由公式(4)计算得: $K_P^*=7.5$ 、 $K_I^*=0.5$ 、 $K_D^*=25$ 。模糊控制器中各变量的基本论域取值如下: $e=[-2,2]$ 、 $Ec=[-0.4,0.4]$ 、 $\Delta K_P=[-3,3]$ 、 $\Delta K_I=[-0.3,0.3]$ 、 $\Delta K_D=[-6,6]$ 。输入量的量化因子: $K_1=3$ 、 $K_2=15$;输出量的比例因子: $K_3=0.5$ 、 $K_4=0.05$ 、 $K_5=1$ 。系统仿真如图 4 所:

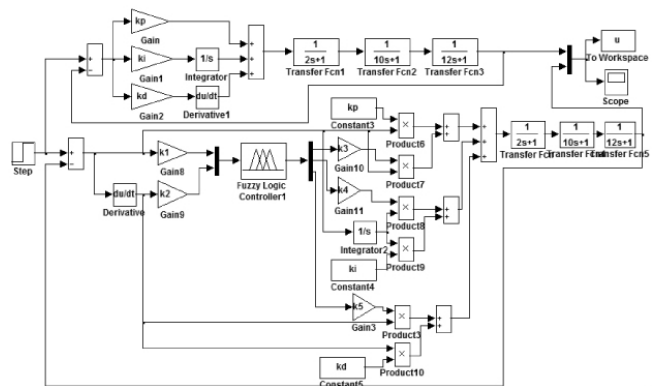


图 4 系统的仿真图

3.2 仿真结果与分析

曲线 1、2 分别为常规 PID 控制器和模糊自整定 PID 控制器的系统响应曲线,如图 5 所示;图 6 是在参数值不变的情况下,采用两种不同的两种数学模型,曲线 1、2 和曲线 3、4 分别常

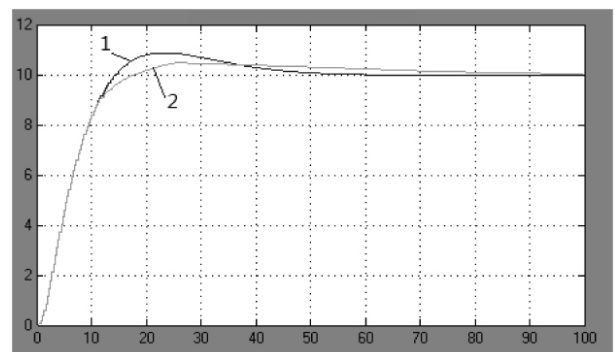


图 5 响应曲线对比

(下转第 58 页)

块。后端平台负责处理所有的 RFID 数据和客户端的使用。

在特种设备管理系统中，标签的类型是 EPC Class1 Gen2,为了获得最佳的性能,我们选择了抗金属标签。

2.2 特种设备管理软件

特种设备管理软件主要负责进行数据录入、处理、通讯和存储管理；同时软件需要处理各个手持读写器中的数据与主数据库的数据同步和数据通信问题。

管理软件的组成包括：

决策层:报表管理(设备故障表、检修表、设备运行记录、图表分析)

应用层:设备新增、设备转移、设备停用、报废、设备盘点、设备维护和检修管理、设备预警管理

基础层:权限管理、系统设置、数据接口、RFID 管理

特种设备管理软件界面如图 3 所示：



图 3 特种设备管理软件界面

2.3 手持读写器软件

手持读写器软件包括特种设备数据的存储和管理模块,RFID 标签的查找和读写模块,数据同步和通信管理模块三大模块。

手持读写器主要用于在设备安装现场检查设备的相关信息。当手持读写器软件运行后,通过控制读写天线发射信号,安装在设备上的 RFID 标签应答信号返回数据,然后读写软件根据标签返回的数据查找手持读写器上的嵌入式数据库,获得相应的设备信息显示在屏幕上。

软件界面见图 4 所示。

2.4 数据库实现

为了实现设备管理系统的功能模块,例如入库和出库模块、报告模块、设备信息查询模块和访问控制模块,系统采用了 SQL Server 2008 数据库作为最终的系统数据支持平台。根据系统的功能需求,我们建立了一些数据库表,包括设备信息表、管理员数据表、企业数据表等等,并通过主键创建了这些表之间的联系。

(上接第 56 页)

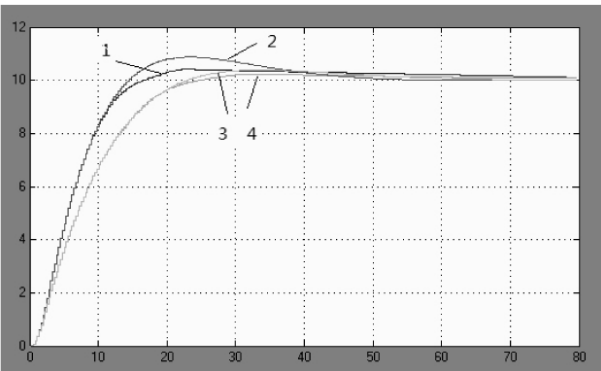


图 6 对象改变响应曲线对比

规 PID 控制器和模糊自整定 PID 控制器的系统响应曲线。通过以上仿真图我们可以看出,对于被控对象不同的两种数学模型,

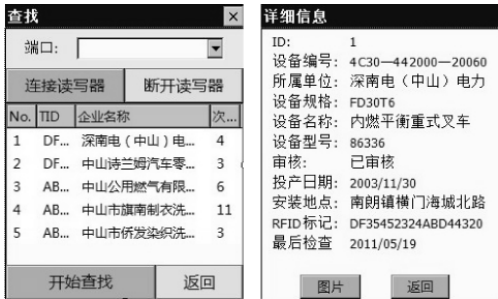


图 4 手持读写器软件界面

3 特种设备管理系统的测试

特种设备管理系统的测试由两部分组成:RFID 功能测试和管理功能测试。前者主要测试 RFID 命令的响应时间,包括读写器状态查询、读写器电力设置/获取、开/关读写器、单/库存识别标签、标签 EPC 获取、标签数据读/写、标签锁定/失能、防碰撞识别性能和稳定识别距离。测试结果显示实际响应时间少于期望响应时间,RFID 性能是稳定和高效的,且命令执行能力很好。

后者的测试主要是客户端用户界面和功能模块性能的测试,包括设备识别、数据收集、数据库更新、系统配置、设备管理和系统可集成和可扩展性的测试。测试结果表明客户端用户界面是用户友好的,可以很好地满足特种设备管理系统具体管理操作的需要。

4 结束语

本文提出了一个基于 UHF RFID 的特种设备管理系统,并测试了该系统的基本性能,测试结果达到了预期的目标。该系统可以实现对特种设备安全状况的动态管理,使管理人员及时了解设备情况和事故状况,提高特种设备管理工作的效率和水平,有利于解决监管部门和生产维护单位对所管辖区特种设备使用安全情况不明的问题。

参考文献

[1]刘红.特种设备安全管理现状及存在问题分析[J].中国科技博览,2010(34)

[2]门智峰,张彦朝.特种设备的风险评估技术[J].中国安全生产科学技术,2006(1)

[3]周永彬,冯登国.RFID 安全协议的设计与分析[J].计算机学报,2006(4)

[收稿日期:2011.11.12]

PID 仿真响应速度要快,但出现较大的超调,对于不同数学模型的系统,适应性差;而模糊自适应 PID 控制响应速度快、超调量小,对于不同数学模型的系统,适应性强。

4 结束语

以上仿真结果表明,在参数值不变的情况下模糊 PID 对于对象模型变化不敏感,控制效果无明显变化,具有较强的适应性和稳态精度。

参考文献

[1]陶永华.新型 PID 控制及其应用[M].北京:机械工业出版社,2002

[2]刘金琨.先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M].2 版.北京:电子工业出版社,2001

[3]黄晓林,黄道君.数字 PID 控制方程的参数在线 FUZZY 自校正方法研究[J].工业仪表与自动化装置,1993(5):3-7

[4]李剑,谷俊杰.PID 参数整定进展[J].电力情报,2001(3):11-13

[收稿日期:2011.9.30]