

基于虚拟仪器的柴油机模糊-PID 调速控制研究

王东军¹, 袁志国², 费红姿², 李文辉²

(1. 海军驻大同地区军事代表室, 山西 大同 037036;
2. 哈尔滨工程大学动力与能源工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 采用 NI PCI6221 多功能数据采集卡建立了基于虚拟仪器的柴油机速度控制系统, 设计了增量式模糊-PID 控制器。针对模糊-PID 切换控制中出现的系统响应动态特性和稳定性不佳的问题, 对切换控制器进行了优化; 采用偏差及偏差变化率作为切换依据及双阈值判断方法, 有效改善了系统动态特性, 提高了控制器切换稳定性。试验结果表明: 优化后的柴油机模糊-PID 调速控制系统在动态特性、稳定性上都取得了更好的控制效果。

关键词: 柴油机; 调速特性; 虚拟仪器; 模糊-PID 控制

中图分类号: TK424.3⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1001-4357(2017)01-0034-04

Research on Diesel Engine Fuzzy-PID Speed Governing Control Based on Virtual Instrument

Wang Dongjun¹, Yuan Zhiguo², Fei Hongzi², Li Wenhui²

(1. Naval Deputy Office of Datong District, Shanxi Datong 037036;
2. College of Power and Energy Engineering, Harbin Engineering University, Heilongjiang Harbin 150001)

Abstract: Diesel engine speed governing control system based on virtual instrument was established with the use of NI PCI6221 multi function data acquisition card, and the incremental fuzzy-PID controller was designed. In view of the bad system response dynamic characteristics and stability during switching and controlling by fuzzy-PID, the switching controller was optimized. Deviation and deviation rate were taken as the switching reference and dual threshold determining rule, which effectively improved the dynamic performance of the system, as well as the switching stability of the controller. Test results show that the diesel engine fuzzy-PID speed governing system achieves better controlling effect both on dynamic performance and stability.

Key words: diesel engine; speed governing characteristic; virtual instrument; fuzzy-PID control

0 引言

柴油机组在船舶电站特别是应急电站中的应用占很大比重, 柴油机调速性能的好坏对电站电网运行的稳定性至关重要。目前, 柴油机电子调速系统大多采用传统的 PID 控制算法, 该算法对被控对象参数的变化比较敏感, 难以满足柴油机在不同工况下的调速性能要求^[1,2]。而模糊控制不需要精确的

数学模型, 具有控制灵活、动态性能好、鲁棒性强等特点, 适合于复杂的非线性控制系统^[3]。由于模糊控制通常采用误差与误差的变化率作为控制器的输入, 本质上相当于非线性 PD 控制, 存在小偏差情况下控制效果不好和稳态控制精度不高的缺点^[4]。结合模糊控制和 PID 控制的优点, 采用模糊-PID 切换控制实现柴油机调速控制, 也即在大偏差时采用模糊控制, 在小偏差时采用 PID 控制,

收稿日期: 2016-07-06

作者简介: 王东军(1979-), 男, 工程师, 主要研究方向为柴油机制造与检验, E-mail: ggaipl@163.com。

可达到比较好的控制效果。

本文以 HEINZMANN 柴油机模拟调速器为被控对象, 采用 NI 数据采集卡 PCI6221, 建立了基于虚拟仪器的柴油机模糊-PID 控制系统, 研究控制过程中的切换策略对调速性能的影响, 并对切换控制器进行优化。

1 虚拟仪器设计

虚拟仪器是一种由计算机控制的模块化仪器系统, 与传统仪器相比, 虚拟仪器在经济性、灵活性、扩展性和可维护性等方面具有很大优势^[5]。本文采用 PCI6221 数据采集卡设计了基于虚拟仪器技术的柴油机速度控制系统, 应用 LabVIEW 编写控制程序及监控界面。控制系统的具体结构如图 1 所示。

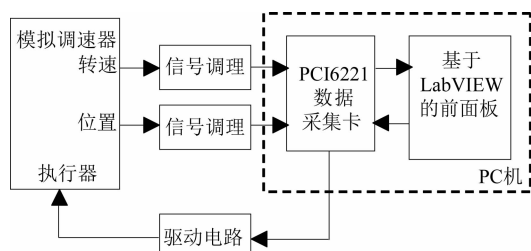


图1 柴油机速度控制系统

HEINZMANN 柴油机模拟调速器是专门为柴油机调速控制系统试验开发的硬件模拟装置, 包括执行器齿条位置控制、转速控制以及集成的柴油机齿条与转速之间的模型参数。所开发的柴油机电子调速单元可首先在模拟调速器上进行调试及试验。

2 增量式模糊-PID 控制器

基于模糊-PID 切换控制的柴油机速度控制系统原理如图 2 所示。控制系统采用双环结构: 内环采用 PID 控制, 实现齿条的准确跟踪; 外环采用模糊-PID 切换控制, 在大偏差时采用模糊控制, 小偏差时采用 PID 控制, 实现柴油机转速控制。

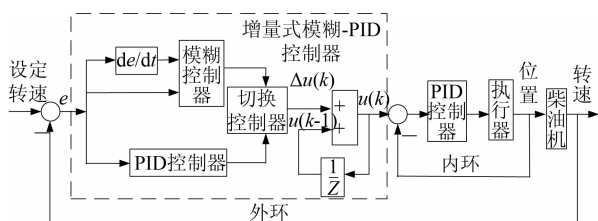


图2 柴油机模糊-PID 控制系统

控制系统工作时, 根据转速偏差 e 的大小在模糊和 PID 两种控制器之间切换, 但是由于两种控制器算法不同, 两个控制器的输出值有差别, 很容易

导致切换后系统响应出现较大的波动, 甚至不稳定。若要实现稳定切换, 必须避免此类问题的出现。增量式模糊-PID 控制每次计算控制信号的增量 $\Delta u(k)$, 切换后的信号只是在原有控制量 $u(k)$ 的基础上做变化, 即改变 $\Delta u(k)$ 。采用增量式模糊-PID 切换控制方法, 可以减小因切换而造成的控制器输出大幅变化, 从而避免系统出现不稳定现象。本文设计的增量式模糊-PID 控制器如图 2 中虚线框所示。采用增量式模糊-PID 控制后, 切换前后输出量变化为 $|\Delta u_{\text{PID}} - \Delta u_{\text{F}}(k-1)|$ 或 $|\Delta u_{\text{F}} - \Delta u_{\text{PID}}(k-1)|$, 而不是 $|u_{\text{PID}}(k) - u_{\text{F}}(k-1)|$ 或 $|u_{\text{F}}(k) - u_{\text{PID}}(k-1)|$ 。

模糊和 PID 控制器都采用增量式, 其中模糊控制器的设计是根据柴油机的实际工作状况, 将转速偏差 e 的变化范围确定为 $[-400, 400]$ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$), 超过这个范围则作为边界值处理。转速误差变化率 de 的变化范围为 $[-40, 40]$ ($(\text{r} \cdot \text{min}^{-1}) \cdot \text{s}^{-1}$), 超过这个范围同样作为边界值处理。齿条位置控制量 Δu 是由 PCI6221 产生的 PWM 信号, 这里将控制量归一化到 $[0, 100]$, 对应于 PWM 信号的占空比。取偏差 e 、误差变化率 de 及控制量 Δu 的论域均为 $[-6, 6]$, 隶属度为三角形函数。模糊控制器输入输出之间的对应关系如图 3 所示。

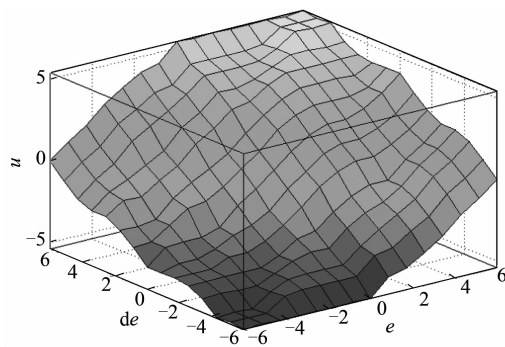


图3 模糊控制器输入输出图

3 切换控制器设计及优化

切换控制器的作用是: 在满足切换条件时将控制器的输出从一个控制器切换到另一个控制器。切换控制器设计的原则是充分发挥模糊控制和 PID 控制各自的优势, 保持系统输出稳定, 并保证系统经一次或多次切换后最终能稳定在 PID 控制下, 避免系统在两个控制器之间频繁切换。一般的切换控制器通常依据偏差 $|e|$ 的大小来判断, 当 $|e|$ 大于等于设定值时采用模糊控制, 而当 $|e|$ 小于设定值时则采用 PID 控制。该算法在仿真时效果较好,

但在实际应用时, 由于被控对象本身存在的惯性和延时, 会使系统在两个算法之间频繁切换, 最终导致系统不稳定。为了获得快速而稳定的控制效果, 必须对切换器进行优化。

3.1 切换控制器优化

为了避免两种控制器在偏差 $|e|$ 处于设定值附近时频繁切换, 本文采用双阈值切换方法, 即

$$\begin{cases} |e| \leq 30 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1}) & \text{PID 控制} \\ |e| \geq 60 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1}) & \text{模糊控制} \\ 30 < |e| < 60 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1}) & \text{保持原算法} \end{cases} \quad (1)$$

这使得两种控制算法之间存在 $30 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$ 的缓冲区, 不会在 $30 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$ 附近频繁切换, 从而大大减少了切换次数, 有利于系统的稳定。

但是这种双阈值切换方法却增加了 PID 算法的控制范围, 使系统动态特性变差, 系统的响应时间增加。为了解决系统动态特性与稳定性的矛盾, 对原切换控制器进行优化: 在判断偏差 $|e|$ 大小的基础上, 增加偏差变化率 $|de|$ 判断, 即同时考虑偏差和偏差变化率, 从而保证当偏差变化率较大时, 提前进行切换, 采用动态性能好的模糊控制器来控制。

3.2 切换控制器设计

根据上述优化方案, 采用如图 4 所示切换方法。大框外采用模糊控制, 小框内采用 PID 控制, 图中阴影部分保持原算法不变。切换控制器从一维变成二维, 即

$$\begin{cases} |e| \leq 30 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1}) \text{ } |de| \leq 3 & \text{PID 控制} \\ |e| \geq 60 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1}) \text{ } |de| \geq 10 & \text{模糊控制} \\ 30 < |e| < 60 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1}) \text{ } 3 < |de| < 10 & \text{保持原算法} \end{cases} \quad (2)$$

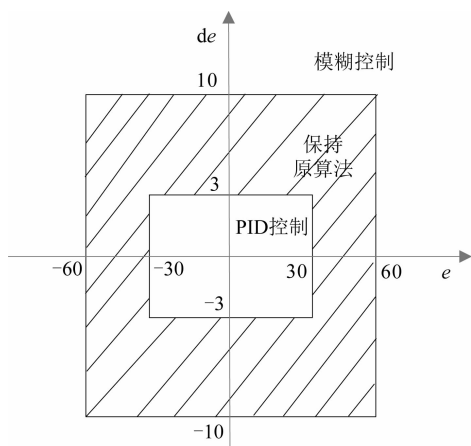


图 4 改进的切换控制器

通过增加转速偏差变化率的判断, 使系统在负载变化较大时及时切换到模糊控制, 相应减少了

PID 的控制范围, 减小突变负载对系统响应的影响; 而在负载变化较小时主要考虑转速偏差。该切换方法可以有效提高控制系统的抗干扰能力, 使得切换变得有自适应性。

4 试验研究

4.1 试验系统

试验系统如图 5 所示, 包括计算机、数据采集卡、信号调理板、电机驱动板和 HEINZMANN 模拟调速器。

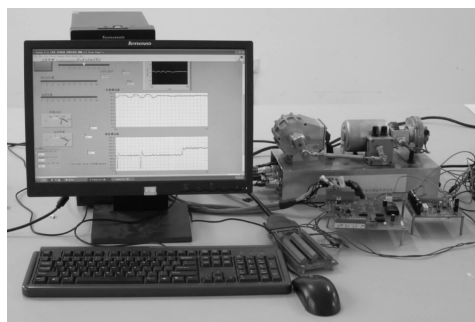


图 5 试验系统

HEINZMANN 模拟调速器采用直流有限转角力矩电机实现齿条位置模拟; 直流无刷电机实现柴油机转速模拟。齿条位置、转速信号经信号调理, 由 PCI6221 采集到计算机中, 再按照设计的控制算法计算控制器输出, 并转化成 PWM 信号输送给电机驱动电路, 驱动有限转角力矩电机。电机转动角度越大表示齿条伸出越多, 柴油机转速越快, 从而构成转速的闭环控制。软件包括模糊 PID 控制算法和监控界面, 用 LabVIEW 编写, 如图 6 所示。

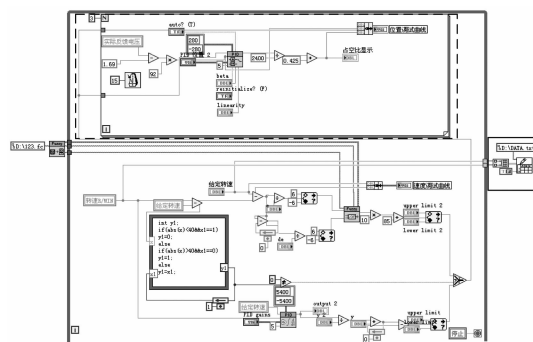


图 6 LabVIEW 控制程序流程图

4.2 起动特性

首先对系统的起动特性进行试验。图 7 中两条曲线分别为切换控制器优化前后的起动曲线。可以看出: 切换控制器未优化时采用偏差 e 作为依据及单阈值判断, 由于两种控制器频繁切换, 系统响应出现明显振荡; 对切换控制器进行优化设计后, 起

动曲线比较平稳, 系统响应很快趋于稳定。

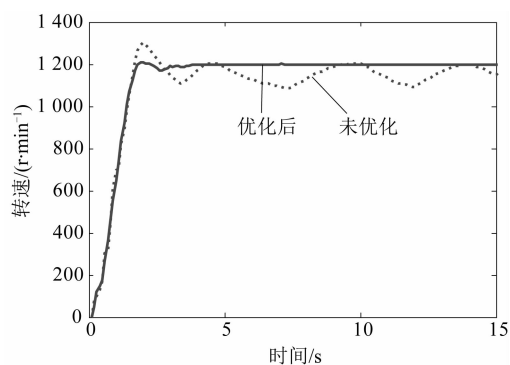


图7 起动特性曲线

图8为分别采用传统PID控制和模糊-PID切换控制的起动曲线。可以看出: 与单纯PID控制相比, 采用模糊-PID切换控制的调节时间短, 响应曲线很快趋于稳定。

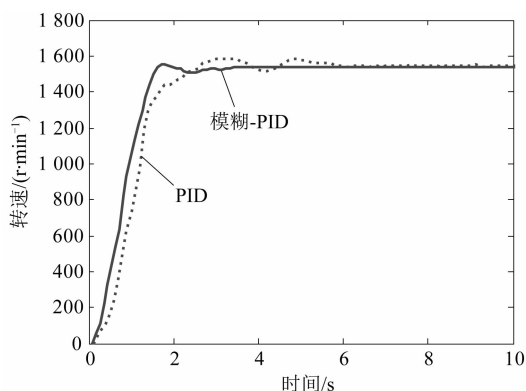


图8 PID控制与模糊-PID控制曲线

4.3 突卸负载试验

在切换控制器中引入偏差变化率的作用主要是改善突卸突加负荷时系统的动态特性, 图9为突卸百分之七十负荷时系统的响应曲线。其中虚线为只用偏差作为切换判断条件时的系统响应, 实线为引入偏差变化率作为判断条件时的系统响应。对比可知: 引入偏差变化率后突卸负载的超调量减小了 $29 (r \cdot \min^{-1})$, 调节时间减少 $4.1 s$ 。这是由于引入偏差变化率作为切换条件后, 当偏差变化率满足切换条件时, 不必等到偏差大于 $60 (r \cdot \min^{-1})$ 时切换控制器才进行切换, 从而大大改善了系统的动态特性。

5 结 论

本文应用虚拟仪器技术建立了柴油机速度控制

系统, 设计了增量式模糊-PID 控制器。针对模糊-PID 切换控制在实际应用时出现的频繁切换问题, 采用双阈值作为切换条件, 并将偏差和偏差变化率同时作为切换器的输入, 改善了系统的稳定性及动态特性。采用本文设计的系统在 HEINZMANN 模拟调速器上进行了试验, 其中起动特性试验结果表明: 对切换控制器进行优化设计后, 起动曲线平稳, 无频繁切换现象。突卸试验表明: 增加偏差变化率作为切换判断, 超调量减少 $29 (r \cdot \min^{-1})$, 调节时间减少 $4.1 s$, 有效改善了系统的动态特性。

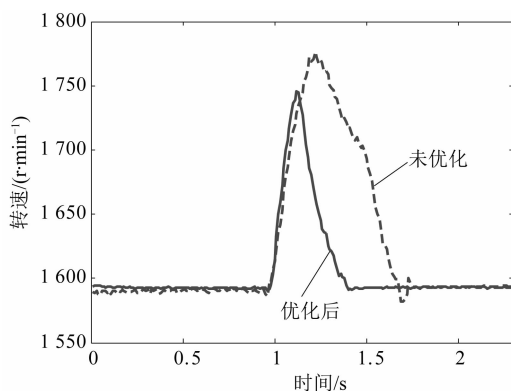


图9 突卸负载响应曲线

参考文献

- [1] MCARDLE M G, MORROW D J, CALVERT P A J, et al. A hybrid PI and PD type fuzzy logic controller for automatic voltage regulation of the small alternator [C]. Power engineering society summer meeting. 2001 (3), 1340-1345.
- [2] MCGOWAN D J, MORROW D J, MCARDLE M. A digital PID speed controller for a diesel generating set [C]. Power Engineering Society General Meeting. 2003 (3): 1472-1477.
- [3] 宋百玲, 费景洲, 宋恩哲. 船用柴油机模糊-PID 复合调速及快速控制原型研究 [J]. 内燃机工程, 2010, 31 (4): 54-58.
- [4] 李国勇. 智能控制与 MATLAB 在电控发动机中的应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [5] 杜预, 施海宁, 姚建林, 等. 基于虚拟仪器技术的应急柴油机调速器测试系统研制 [J]. 核动力工程, 2010, 31 (3): 88-91.