

基于模糊PID控制的直流电机同步控制系统*

王庆明, 孙 怡

(华东理工大学 机械与动力工程学院, 上海 200237)

摘要: 为了更好地解决过程自动化领域多电机同步控制问题,以直流电机同步控制为研究对象,根据直流电机参数建立了控制系统数学模型,分析了采用传统PID方式控制电机同步系统而存在的问题,将模糊控制与传统PID控制相结合,设计出了模糊PID控制器。数值仿真及实验结果表明,该方案鲁棒性优良,响应快速,动态过程中同步误差小,能够较好地满足被控对象对高精度同步控制的要求。所开发的模糊PID控制软硬件系统在相应的实验平台上获得了较好的控制效果。

关键词: 模糊控制;模糊PID控制;直流电机同步控制

中图分类号: TP273;TH39 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2012)05-0493-04

Multi-DC motors' synchronization control system based on fuzzy PID control

WANG Qing-ming, SUN Yi

(School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: In order to solve the multi-DC motors' synchronization control in field of process automation, with DC-motor synchronization control as the research object, the mathematical model of the control system was established from the parameters of the DC-Motor, the synchronization control system based on the traditional PID control method and its corresponding problems were analyzed. Then a fuzzy-PID controller was designed through the combination of fuzzy and PID control. Numerical simulation results show the good robustness, fast response and negligible error in the system, which can greatly suffice for the requirement of high precision of the system. And the developed experimental platform for this system is also verified with qualified results.

Key words: fuzzy control; fuzzy-PID control; DC motors' synchronization control

0 引 言

基于离心力的驱动方法,对于在某些特殊条件下的运动物体具有重要的意义。由于偏心质量的回转特性,离心力驱动装置需要设置旋向相反的偶数个回转系统,以获得回转力矩的平衡,这就涉及到多电机同步控制问题。

多电机同步控制是过程自动化领域的重要课题,在工程实际中,由于各传动轴驱动特性不匹配、负载扰动等因素都会影响多电机的同步精度,因此多电机同步控制一直是研究热点。运用控制器实现多电机同步

的方式^[1-3]具有控制精确、结构简单、运行稳定、成本低等优点,但为适应多电机同步控制系统的多变量、高耦合、非线性的特性,必须在控制算法上不断加以改进。文献[4]利用模糊PID作为速度同步补偿器的控制算法,使用遗传算法来整定PID的参数范围,以解决多电机速度同步控制问题;文献[5]提出了基于ROFIBUS总线的模糊-PID补偿算法的多电机同步控制策略,并研究了该策略的设计方法;文献[6]用模糊控制与PID控制相结合的算法对多台电机进行同步控制;文献[7]将模糊PID控制理论引入灌装机的电机控制系统;文献[8]采用模糊PID控制算法设计补偿控制器等。

收稿日期:2011-12-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51175176)

作者简介:王庆明(1954-),男,江西吉安人,博士,教授,博士生导师,主要从事现代设计制造工程方面的研究。 E-mail: wangqm@ecust.edu.cn

本研究运用PID和模糊控制相结合而成的控制器来实现对两台直流电机的同步控制,研究结果可推广到多台直流电机的同步控制。

1 直流电机控制系统数学模型的建立

直流电机电压与输出转速之间的传递函数为:

$$n(s) = \frac{1/C_e}{T_m T_1 s^2 + T_m s + 1} U_{d0}(s) \quad (1)$$

本研究采用直流齿轮减速电机,型号为Zheng Gear-Box Motor ZGB37RG,有关参数如表1所示。

表1 Pittman GM13H529直流电机参数表

参数名称	符号	大小	单位
电枢电阻	R	8.33	Ω
电枢电感	L	6.17	mH
电动势常数	C_e	3.953×10^{-2}	$V/(\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$
转矩系数	C_m	0.039 54	$\text{N} \cdot \text{m}/\text{A}$
电枢惯量	J_a	2.75×10^{-6}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
负载惯量	J_L	0.013 7	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
传动比	N	7 860:18	

根据以上参数可得:

总惯量 $J = J_a + J_L/N^2 = 2.82 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$; $T_m = JR/C_e C_m = 0.015 \text{ 03}$; $T_1 = L/R = 7.407 \times 10^{-4}$ 。

由此可知 $T_m > T_1$, 所以可将传递函数近似成:

$$G(s) = \frac{1/C_e}{T_m T_1 s^2 + (T_m + T_1)s + 1} = \frac{1/C_e}{(T_m s + 1)(T_1 s + 1)} \quad (2)$$

代入电机参数得电压输入 U_{d0} 与 n_L 的传递函数为:

$$G(s) = \frac{n_L(s)}{U_{d0}(s)} = \frac{49.6 \times 10^3}{(s + 1350)(s + 66.4)} \quad (3)$$

2 PID 控制仿真

PID控制已经形成了典型结构,参数易于调整,结构简单,且结构改变灵活(如PI、PD等),所以它被广泛应用于许多工业生产过程控制,获得了良好的效果^[9]。

对电机同步控制系统采用PID控制,根据式(3)的传递函数,通过不断试验,笔者得到了较适宜的PID参数: $K_p = 20$; $K_i = 1 \text{ 250}$; $K_d = 0$,设计了系统PID仿真结构图,仿真结果如图1所示(实线为主电机响应曲线,虚线为从电机响应曲线)。

从图1中可以看到,PID控制后的系统响应存在少量超调,且其响应速度还不够迅速。

3 模糊PID控制仿真

为进一步优化系统以满足更高的控制要求,本研究引入模糊控制,将其与PID控制相结合,设计了模糊PID控制器来实现对直流电机速度同步的智能控制。

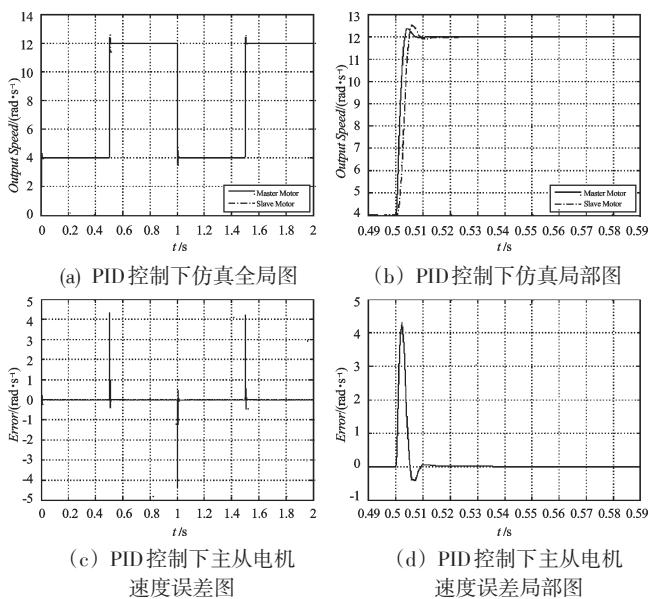


图1 PID控制直流电机速度同步仿真响应曲线图

模糊控制算法是一种以现场操作者的经验知识为基础的非线性智能控制策略,采用这种控制方法的控制器称为模糊控制器。模糊控制最大的优点是即使不知道受控对象精确的数学模型也可以采用模糊控制技术,并能使控制系统具有很好的鲁棒性。基于PID控制和模糊控制的不同特性,设计模糊PID控制器,将有助于进一步提高同步控制系统的性能。

模糊PID控制原理就是:把输入PID调节器的变差 e 和变差变化率 ec 同时输入到模糊控制器中,由模糊控制器对3个参数 K_p 、 K_i 和 K_d 进行调节,分别经过模糊化,近似推理和清晰化后,把得出的修正量 K_p 、 K_i 和 K_d 分别输入PID控制器,即根据所输入的变差 e 和变差变化率 ec 对PID 3个系数进行实时在线修正。

针对该系统的模糊PID控制原理图如图2所示。

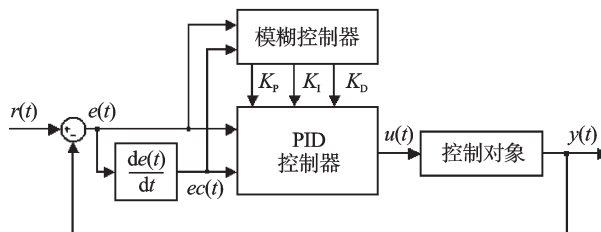


图2 模糊PID控制原理图

针对该系统,先设置完各变量隶属度函数后,再进行模糊规则编译^[10-14],模糊规则表如表3所示(X代表没有模糊规则)。

模糊控制模块编辑完成后,运用Simulink对系统进行仿真。

模糊PID控制直流电机速度同步仿真结构总图如图3所示。图3中,控制主、从电机运动的模糊PID控制器采用相同的结构配置。

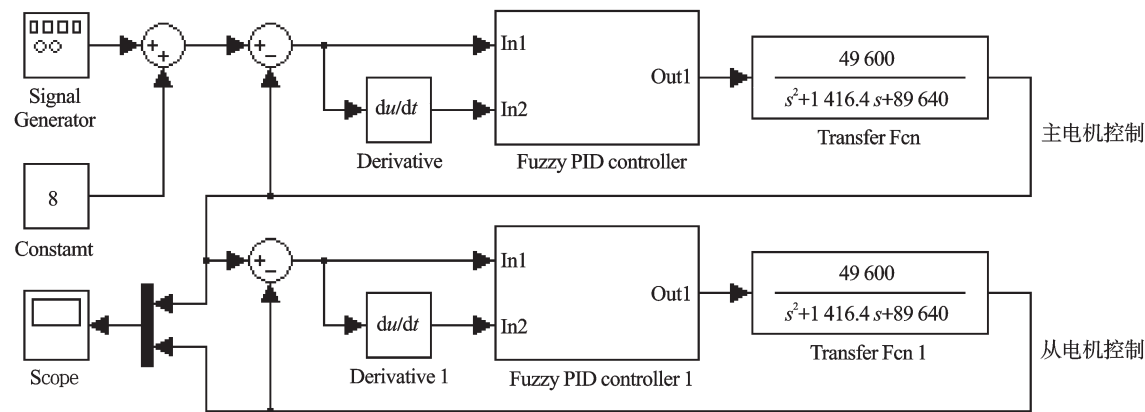


图3 模糊PID控制直流电机速度同步仿真结构总图

表3 模糊规则表

K_p, K_i, K_d	lecl				
	L	M	S	ZO	None
lel	L	X X X	X X X	X X X	M Z O S
	M	X X X	X X X	X X X	M S S
	S	X X X	X X X	X X X	M L L
	ZO	X X M	X X ZO	X X ZO	L M X

模糊PID控制直流电机速度同步仿真响应曲线图如图4所示(实线代表主电机的响应曲线,虚线代表从电机的响应曲线)。

由图4和图1的对比可知,模糊PID控制相对于PID控制,在无误差的前提下,响应速度更快,且无超调,响应曲线达到预设值后直接进入稳定状态。

4 系统软硬件实验平台

经过前面的分析仿真后,本研究开发了相应的软、硬件系统实验平台。电机调速部分采用脉宽调制(PWM)方式^[15],控制器运用了AT89S52芯片,电机用的是上述建

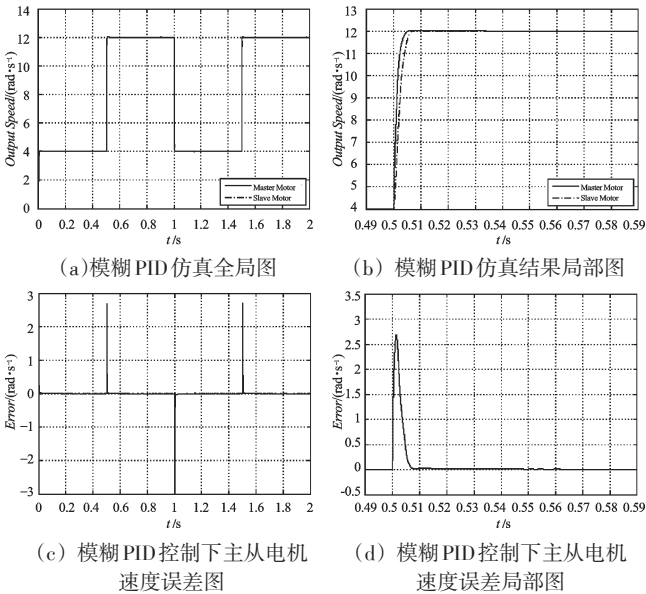


图4 模糊PID控制直流电机速度同步仿真响应曲线图

模时用的Zheng减速电机,还采用了LCD1602显示模块、电机驱动模块以及用于测速的光电旋转式编码器。

多电机同步控制硬件系统图如图5所示。

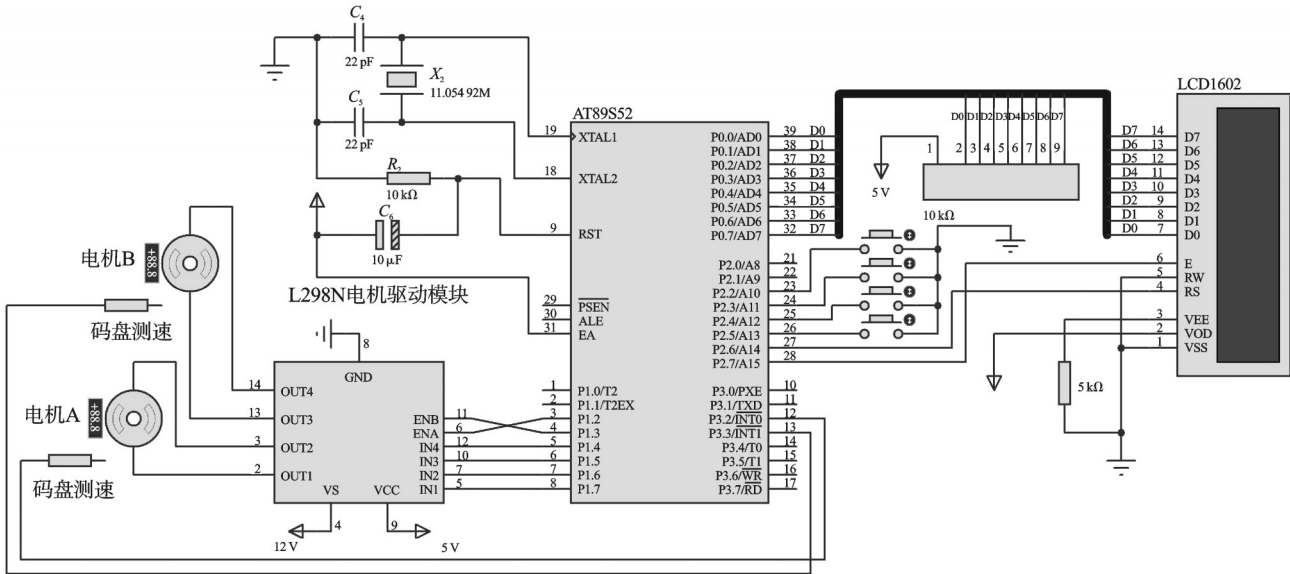


图5 多电机同步控制硬件系统图

软件方面,本研究运用了 Keil μ Vision3,在其提供的平台上用C语言编写单片机程序。根据 AT89S52 的配置,笔者用定时器0和1来生成两台电机的PWM,用两个外部中断来检测两个测速码盘装置输出地脉冲,然后用定时器2轮流测试两台电机的速度。

控制程序流程图如图6所示。

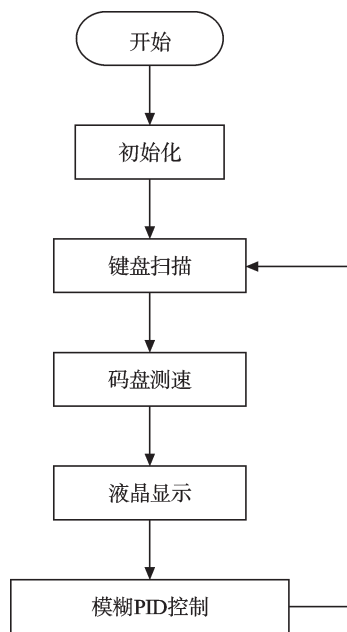


图6 程序流程图

根据图6,本研究编写出了控制程序,其中的主程序如下:

```

void main()
{
    initial();//初始化
    while(1)
    {
        anjian();//按键扫描子程序
        measurerpm();//码盘测速子程序
        showrpm(rpm11,rpm22);//液晶显示子程序
        FuzzyPIDprocess();//模糊PID处理子程序
    }
}
  
```

实验结果证明本研究设计的模糊PID控制器将模糊控制与PID控制相结合,获得了很好的同步控制效果。

5 结束语

本研究在主从式电机同步控制结构的基础上,运

用PID控制器控制直流电机同步系统,并引入模糊控制,设计了模糊PID控制器,使控制系统得到优化。数值仿真和实验结果都证明了系统在模糊PID控制下,同步性能较好,速度响应能力相对于PID控制有了提高。控制效果与模糊控制中的模糊规则密不可分,通过改善模糊规则可以进一步优化系统,而在编辑模糊规则过程中,需要寻找最佳的规则搭配。

本研究进行的模糊控制与PID控制相结合的研究,对于模糊PID在电机同步控制的应用具有一定的参考借鉴意义。

参考文献(References):

- [1] 孙文焕,程善美,王晓翔,等. 多电机协调控制的发展[J]. 电气传动,1999,29(6):3-6.
- [2] 贺海清,李红英. 电机群变频调速的同步控制[J]. 工矿自动化,2006(3):83-85.
- [3] 朱华. 多电机传动变频调速系统[J]. 起重运输机械,2003(9):78-86.
- [4] 王国亮. 基于模糊PID补偿器的多电机同步控制策略研究[D]. 沈阳:东北大学信息科学与工程学院,2006.
- [5] 张 良. 基于 PROFIBUS 总线的多电机同步控制研究[D]. 青岛:青岛大学自动化工程学院,2008.
- [6] 刘 波. 基于模糊控制的多电机同步控制系统研究[D]. 武汉:武汉理工大学自动化学院,2009.
- [7] 王永平. 多电机同步控制策略在液体药品灌装机中的应用研究[D]. 长沙:中南大学信息科学与工程学院,2009.
- [8] 万鹏飞,王 莉. 基于模糊PID控制的多电机同步控制研究[J]. 仪器仪表用户,2009(1):21-23.
- [9] 刘恩仓. 计算机控制系统分析与设计[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2001:122-128.
- [10] 金传波,纪合溪. 钢厂循环发电工程中煤气压力的模糊PID控制[J]. 现代制造技术与装备,2011(4):7-9.
- [11] 赵一鹏,姜 伟. 基于模糊PID电液伺服控制系统的设计和仿真[J]. 轻工机械,2010,28(3):69-71.
- [12] GOREZ R. Model based Fuzzy Control Systems—Mathematics of Analysis and Design of Process Control [M]. North Holland:Elsevier Science Publishers B. V,1992:621-623.
- [13] POSTLETHWAITH B E. Building a model-based fuzzy controller[J]. **Fuzzy Sets and System**,1996,79(1):3-13.
- [14] SOUSA J M, KAYMAK U. Model predictive control using fuzzy decision function[J]. **IEEE Transactions on SMC: Part B**,2001,31(1):54-56.
- [15] 冯劲梅,王庆明. 采用单片机的直流电机无线遥控系统[J]. 机电工程,2010,27(12):7-10.

[编辑:罗向阳]