

变频闭式液压动力单元模糊PID复合控制

黄方平¹, 徐兵², 杨华勇²

A Variable Frequency Close Hydraulic Power Unit Using Fuzzy PID Compound Control

HUANG Fang-ping¹, XU Bing², YANG Hua-yong²

(1. 浙江大学宁波理工学院, 浙江 宁波 315100; 2. 浙江大学流体传动及控制国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘要:该文针对一种结构紧凑、节能降噪的变频闭式液压动力单元进行了模糊PID复合控制仿真研究,采用模糊PID控制时能改善系统的动态特性,提高响应速度。

关键词:变频调速; 动力单元; 闭式油路; 模糊PID

中图分类号:TH137.3 文献标识码:B 文章编号:1000-4858(2006)01-0042-03

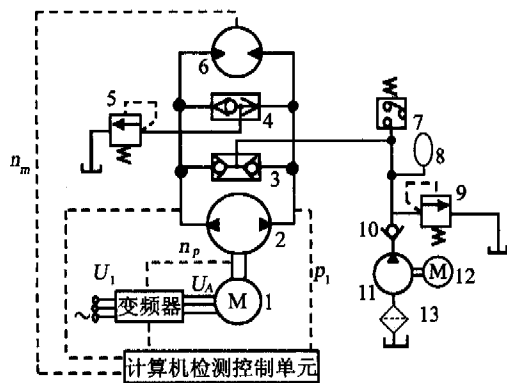
1 引言

变频液压技术是一种新型节能传动技术,在机床、液压提升机械、注塑机等许多机械装备中有着广泛的潜在应用。采用电机变频调速的方式改变液压泵的输入转速来调节液压泵的输出流量达到调节系统执行元件的速度。变频液压传动系统可以省去带有复杂变量机构的变量泵或者调节流量的节流阀和溢流阀,系统的元件数目少,容易进行系统集成,系统体积小、重量轻、效率高。该传动系统是一种全局型的节能系统,系统中的电动机与执行元件的液压缸或马达可以达到较为理想的功率匹配,节能效果显著,有效降低生产成本。本文针对浙江大学设计的一种变频闭式液压动力单元^[1-2]进行了建模和速度响应的模糊PID复合控制仿真研究。

2 变频闭式液压动力单元的组成原理

2.1 系统的液压原理结构

变频闭式液压动力单元的液压结构原理图如图1所示,该动力单元主要由主液压回路和补油回路两部分组成,主油路采用双向液压泵2,通过由变频器控制电动机1的转速来调节双向液压泵2的转速从而控制液压泵吸入的流量,通过改变双向液压泵的油液输出方向来改变执行元件双向马达6的转动方向,主回路中的油液泄漏由补油回路通过梭阀3进行补充,主回路中溢流阀5对系统起安全保护作用,补油回路主要由补油电机、补油泵、蓄能器和压力继电器等组成,通过压力继电器7的动作可以给主回路补充油液。



1. 主电机 2. 双向液压泵 3. 补油梭阀 4. 溢流梭阀 5. 溢流阀
6. 双向液压马达 7. 压力继电器 8. 蓄能器 9. 溢流阀 10. 单向阀
11. 补油泵 12. 补油电机 13. 过滤器

图1 系统结构原理图

2.2 系统的控制原理

系统的控制原理如图2所示,异步电机轴端采用光电式编码器进行转速反馈,将电机的转速实时地反馈给变频器,泵的出口压力通过压力传感器检测出压力信号,经A/D转换后,进入计算机控制器,同时马达的转速同样通过光电式编码器测出经转换后进入控制器,控制器经过比较处理后在将信号传给变频器,变频器再调节电动机的转速。

收稿日期:2005-06-29

基金项目:浙江省自然科学基金资助(No. 502088)

作者简介:黄方平(1973-),男,湖南双峰人,讲师,硕士,主要从事机电液控制及其节能研究。

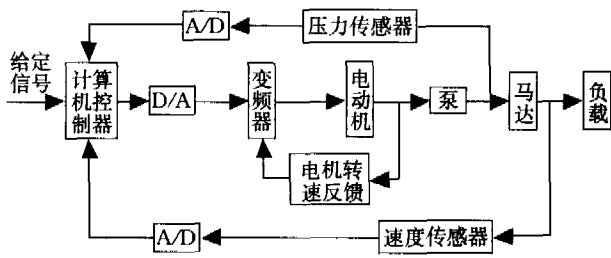


图 2 系统控制原理框图

2.3 系统数学模型

根据变频闭式液动力单元的驱动和控制原理及各环节元件的特点,建立该系统总的数学模型如下:

$$\begin{cases} f_s = K_{int} \cdot u \\ U_A = \left[\frac{380 - b}{50} \right] \cdot f_s + b \\ T_e = K_{T1} \cdot U_A - K_{T2} \cdot n_p \\ J_T \cdot \frac{dn_p}{dt} = T_e - q_p \cdot p_p / \eta_{mp} - B_T n_p \\ \frac{V_m}{\beta_e} \cdot \frac{dp_p}{dt} = q_p \cdot n_p - q_m - p_p \cdot (C_p + C_m) \\ J_m \cdot \frac{dn_m}{dt} = q_m \cdot p_p \cdot \eta_{nm} - B_m \cdot n_m - T_L \end{cases}$$

式中 f_s 为电机定子侧电流频率; K_{int} 为变频器的增益系数; u 为输入变频器的控制电压; U_A 为电机定子侧电压; b 为常数; T_e 为电动机磁转矩; K_{T1} 、 K_{T2} 为与电动机极对数和转子折算电阻相关的系数; n_p 为泵的转速; J_T 为折合到电机轴上的转动惯量; q_p 为泵的排量; p_p 为泵的出口压力; η_{mp} 为泵的机械效率; B_T 为电机转轴阻尼系数; V_m 为泵到马达之间封闭容腔的体积; β_e 为油液的体积弹性模量; n_m 为马达输出转速; C_p 为泵的泄漏系数; C_m 为马达的泄漏系数; J_m 为折算到马达轴上的转动惯量; η_{nm} 为马达的机械效率; B_m 为马达轴阻尼系数; T_L 为马达轴上的负载转矩。

3 模糊 PID 复合控制器的设计

由于单纯的 PID 不能达到预期的控制效果,因此将 PID 控制和模糊控制结合起来形成模糊 PID 复合控制以其达到改善系统的控制效果。

3.1 模糊控制器的设计

由模糊控制的基本原理可以得到系统的模糊控制系统的框图如 3a 所示。

总结手动控制规则并结合变频液压调速系统的特点可以得到的适合于变频闭式液动力系统的控制规则表,如表 1 所示^[3~4]。

表 1 模糊控制规则表

E	EC						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	ZE	ZE
NM	NB	NB	NB	NB	NM	ZE	ZE
NS	NM	NM	NM	NM	ZE	PS	PS
ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
PS	NS	NS	ZE	PM	PM	PM	PM
PM	ZE	ZE	PM	PB	PB	PB	PB
PB	ZE	ZE	PM	PB	PB	PB	PB

由模糊控制规则表及模糊变量的关系确定模糊变量 E 、 EC 的规范化离散论域为 $X = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 、 $Y = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 、而控制量 u 的规范化离散论域为 $Z = \{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$,得到 FC 查询表如表 2 所示^[3~4]。

表 2 FC 查询表

E	EC												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-7	-6	-7	-6	-7	-7	-7	-4	-4	-2	0	0	0
-5	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-4	-4	-2	0	0	0
-4	-7	-6	-7	-6	-7	-7	-7	-4	-4	-2	0	0	0
-3	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-3	-2	0	1	1	1
-2	-4	-4	-4	-5	-4	-4	-4	-1	0	0	1	1	1
-1	-4	-4	-4	-5	-4	-4	-1	0	0	0	3	2	1
0	-4	-4	-4	-5	-1	-1	0	1	1	1	4	4	4
1	-2	-2	-2	-2	0	0	1	4	4	3	4	4	4
2	-1	-2	-1	-2	0	3	4	4	4	3	4	4	4
3	0	0	0	0	3	3	6	6	6	6	6	6	6
4	0	0	0	2	4	4	7	7	7	6	7	6	7
5	0	0	0	2	4	4	6	6	6	6	6	6	6
6	0	0	0	2	4	4	7	7	7	6	7	6	7

3.2 模糊 PID 复合控制器的设计

将常规的 PID 控制与基本模糊控制相结合得到系统的模糊 PID 复合控制器如图 3b 所示,复合控制器的输出由常规 PID 控制器输出 u_2 和基本模糊控制器输出 u_1 相叠加,即 $u = u_1 + u_2$ 。

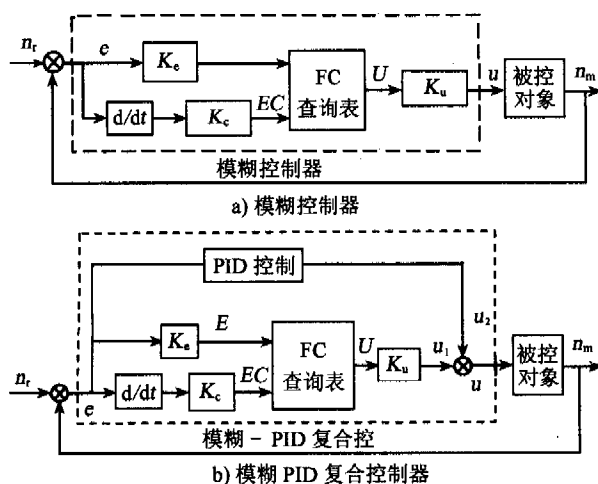


图3 控制器设计

控制器中常规PID控制的作用主要是消除稳态误差,改善稳态性能,而基本模糊控制器的作用主要是提高响应的快速性,使系统获得优良的动态特性和较好的鲁棒性能。

4 系统模糊PID复合控制仿真

由模糊PID复合控制的原理框图可以得到模糊PID控制器的Simulink仿真框图如图4所示。

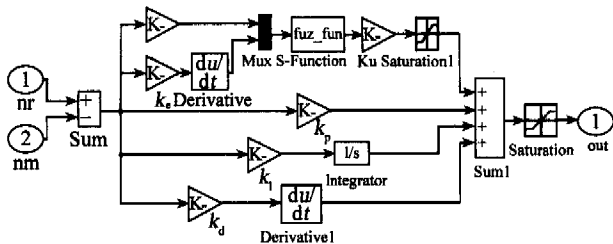


图4 模糊PID控制器仿真结构图

图5a为PID控制及模糊PID控制时的转速阶跃响应仿真曲线。图5b为模糊PID复合控制时,不同负载条件下,马达转速的响应曲线,仿真中模糊PID复合控制器的参数分别为 $k_p=0.01, k_i=0.004, k_d=0.0015, k_c=0.4, k_e=0.8, k_u=0.4$,负载分别为 $T_L=$

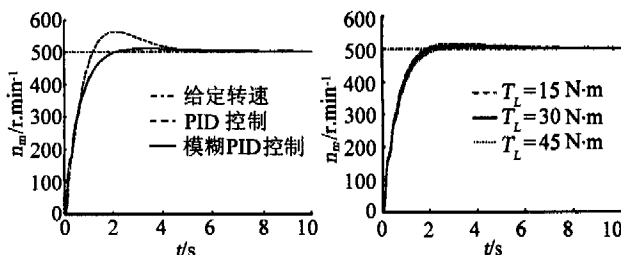


图5 转速响应曲线

图5 转速响应曲线

15 Nm, $T_L=30$ Nm, $T_L=45$ Nm。

从图5速度仿真阶跃响应曲线可以看出,在静态性能方面,两种控制方法都无稳态误差。但在动态性能方面,采用单独的PID控制时,超调量大,达到给定的稳定速度的时间长。采用模糊PID复合控制时,系统的速度输出控制特性较好,响应的速度较快,马达转速阶跃响应曲线基本无超调,马达转速响应受负载变化影响较少。从图5b的仿真曲线还可以看出马达的输出转速在不同的负载条件下,其响应速度有一定的变化,负载小时响应速度较快,但超调要稍大一些;负载大时更容易趋向于给定的稳定转速,这主要是因为系统中存在泄漏,负载增大时泄漏也会增大,因此响应速度相应要慢。

5 结束语

由于变频液压动力系统具有节能高效、结构简单等特点,近年来的研究和发展迅速,同时也是今后液压新技术的发展方向之一。本文针对变频闭式液压动力单元进行了模糊PID复合控制仿真研究,得出了该动力单元的速度响应特性,其结论对变频液压动力系统有一定的理论意义。

参考文献:

[1] 黄方平. 变频闭式液压动力系统的设计及应用研究[D]. 杭州:浙江大学,2005.

(下转第41页)

《液压与气动》杂志

本刊是国内外公开发行的中央级技术性期刊,主管单位为机械工业联合会,创刊于1977年,2001年由双月刊改为月刊,是机械、仪表类学科的全国中文核心期刊,进入《中国学术期刊(光盘版)》万方数据系统科技期刊群网络。根据科技部国科发财字[2001]340号文通知,在液气密行业只有《液压与气动》杂志,被评选进入“中国期刊方阵”,(见封面的“中国期刊方阵”图形标志)这充分体现了本刊作为国家级期刊在同业中的地位。本刊主要介绍液压传动与气压传动技术及其应用。设有综述、研究·设计、主机·应用、元件·介质、试验·测试、使用·维修、连载讲座等栏目。读者对象为本专业的工程技术人员,有关的销售人员、管理人员,液压和气动设备的安装、调试、使用、维修人员,有关大专院校师生。

运行 MATLAB Fuzzy 控制工程箱可得系统的输入输出关系图和 Fuzzy PID 控制系统的组成图如图 3 所示。

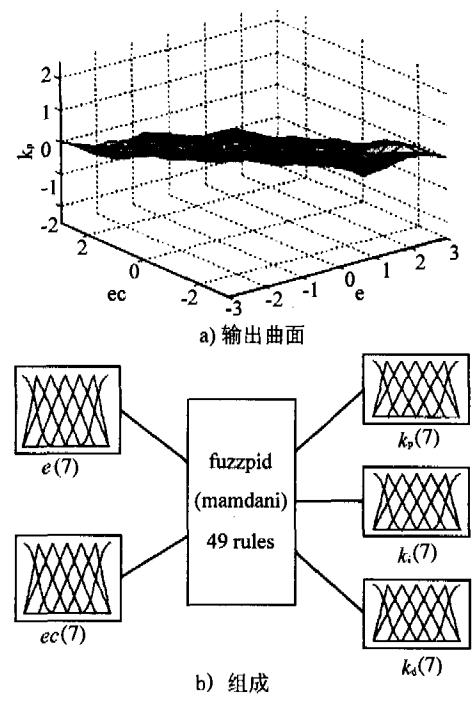


图 3 Fuzzy PID 控制系统输出和组成

3 仿真分析

系统参数如表 4 所示,把表中的参数带入压注机系统中,应用 MATLAB 模糊控制工程箱进行 Simulink 仿真,当弹性负载逐渐增大时可得下列 Fuzzy PID 控制和传统的 PID 控制两组仿真曲线,见图 4。

表 4 压注机电液伺服控制系统主要参数

系统参数(单位)	数值
液压缸 1 面积 $A(m^2)$	1.0×10^{-3}
油液体弹性模量 $\beta_e(Pa)$	6.9×10^8
活塞与负载总质量 $m(kg)$	10.0
供油压力 $p_s(MPa)$	10.0
最大负载力 $F(N)$	1000
流量 $Q(L/min)$	10

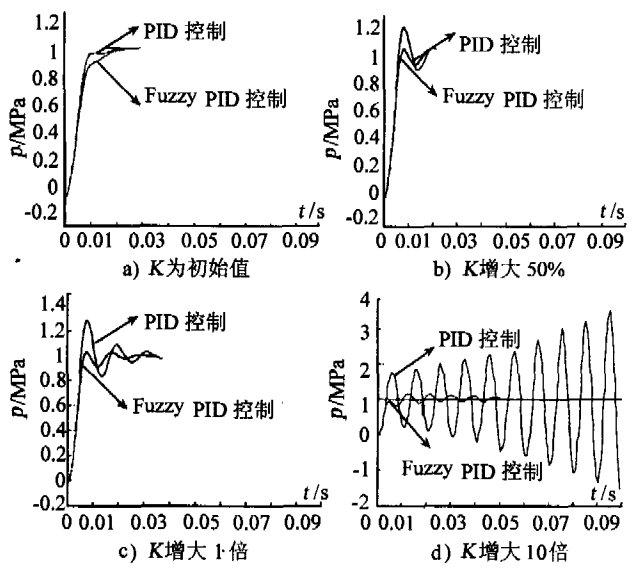


图 4 阶跃仿真曲线

通过仿真结果分析,在保证响应速度的同时,当弹性负载刚度增大为原来的 50% 和 100% 时,传统的 PID 控制产生的系统超调量从 0% 增大到 27.2%,而 Fuzzy PID 控制的超调量只从 0% 增大到 5.5% 左右;如果负载弹性刚度增大为原来的 10 倍时,PID 控制会产生振荡,出现不稳定,而 Fuzzy PID 控制仍然保持良好的控制效果。

4 结论

由仿真结果我们知道,当弹性负载发生变化时,Fuzzy PID 控制相对于传统的 PID 控制有更小的超调量,更好的控制性能。

参考文献:

[1] James Carvajal, Guanrong Chen, Haluk Ogmen. Fuzzy PID controller: Design, performance evaluation, and stability analysis[J]. Information Sciences, 123(2000): 249-270.

[2] 张国良,曾静. 模糊控制及其 MATLAB 应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002.

[3] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京:机械工业出版社,1998.

[4] 储岳中,陶永华. 基于 matlab 的自适应模糊 PID 控制系统计算机仿真[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2004(1).

(上接第 44 页)

[2] 黄方平,徐兵,杨华勇. 一种新型变频液压力单元的设计与应用[J]. 液压与气动,2004(10):14-16.

[3] 彭天好. 变频泵控马达调速及其补偿特性研究[D]. 杭州:浙江大学,2003.

[4] 张建民. VVVF 液压电梯速度控制系统研究[D]. 杭州:浙江大学,1997.

[5] Helduser. S. Electric-hydrostatic drive-an innovative energy-saving power and motion control system [J]. Proc Instn Mech Engrs, Vol 213 Part I, 1999.