

基于模糊自整定 PID 的二质量伺服控制系统研究

石文兵, 唐小琦

(华中科技大学 国家数控系统工程技术研究中心, 湖北 武汉 430074)

摘要 : 在分析了直流伺服系统电学方程和动力学方程的基础上, 建立了二质量伺服系统的数学模型及 SIMULINK 仿真模型。通过 MATLAB 模糊工具箱和 SIMULINK, 实现了模糊自整定 PID 控制器的设计和系统仿真。仿真结果表明用模糊自整定 PID 控制二质量伺服系统, 系统响应快, 超调量小, 稳定精度高。

关键词 : 二质量伺服系统 ; 模糊控制 ; PID 控制 ; 自整定

中图分类号 : TP273 **文献标识码** : A **文章编号** : 1000-0682(2007)02-0003-03

A study of two-mass servo control system based on a fuzzy self-tuning PID controller

SHI Wen-bing, TANG Xiao-qi

(National Numerical Control System Engineering Center of Huazhong University of Sci-Tech, Hubei Wuhan 430074, China)

Abstract : This paper presents the making of both math and simulation models for use with a two-mass servo system based on an analysis of both electric equation and dynamic equation in a servo system. The design of a fuzzy self-tuning PID controller and the simulation of the whole system are realized by using the MATLAB fuzzy logic tool and SIMULINK. The results of the simulation show that the two-mass servo system with the fuzzy self-tuning PID controller has a fast response, slight overshoot and high accuracy in stability.

Key words : two-mass servo system ; fuzzy control ; PID control ; self-tuning

0 引言

近年, 伺服驱动系统越来越广泛地应用于军事、工业生产等运动控制领域。对伺服系统的控制, 目前绝大多数采用的是常规 PID 控制器。这类控制器原理简单, 容易实现, 对线性系统具有较好的控制效果, 而实际伺服系统都存在不同程度的非线性和参数时变性, 很难建立准确的数学模型, 因而常规 PID 控制器很难达到理想的控制效果。模糊控制对数学模型的依赖性弱, 系统鲁棒性强, 适应于非线性时变系统的控制。针对 PID 和模糊控制器的特点, 该文将两者结合, 应用模糊推理的方法实现对 PID 参数的在线自整定, 并设计出参数模糊自整定 PID 控制器。仿真结果表明, 该控制器对伺服系统的控制效果明显优于常规的 PID 控制器。

1 二质量伺服系统数学模型

通常所说的伺服系统是把电机和负载作为一个

刚体来考虑的, 即单质量伺服系统, 该系统与实际特性有很大差别。对于实际系统, 尽管电机与负载是直接耦合的, 但是传动本质上是弹性的。在电机驱动力矩的作用下, 机械轴有一定程度的弹性变形和弯曲。对于加速度要求大、转动惯量大、控制性能要求较高的伺服系统, 这种弹性变形和弯曲是不能忽略的。因此, 在分析伺服系统时, 必须考虑电机与负载之间的弹性耦合以及联结二者的弹性元件 (见图 1)。考虑电机和负载的转动惯量而言很小, 且其质量分布在轴的长度上, 因此可以忽略, 将三质量系统简化为二质量系统^[1]。

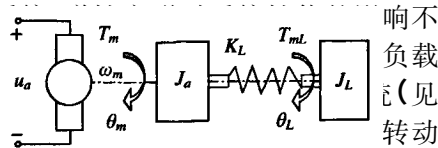


图 1 电机-传动轴-负载模型

二质量伺服系统的电学方程和动力学方程：

$$iR + Li = u_a - C \dot{\theta}_m - K \dot{\theta}_L$$

$$J_L \ddot{\theta}_L = T_{mL} - b_L \dot{\theta}_L$$

式中, i 为电枢电流, R 和 L 为电枢电阻与电感, C_e 为电机反电动势系数, K_i 为电流反馈系数, K_m 为电机电力矩系数, K_L 为耦合刚度系数, θ_m 和 θ_L 分别为电机和负载转角, J_m , J_L 和 J_a 分别为电机、负载和传动轴转动惯量(二质量系统中 J_a 忽略不计), b_m 和 b_L 分别为电机和负载的阻尼系数, T_m 为电机输出转矩, T_{mL} 为负载端输出力矩。

由以上二质量系统的数学模型建立 SIMULINK 仿真模型, 如图 2 ~ 图 4 所示。

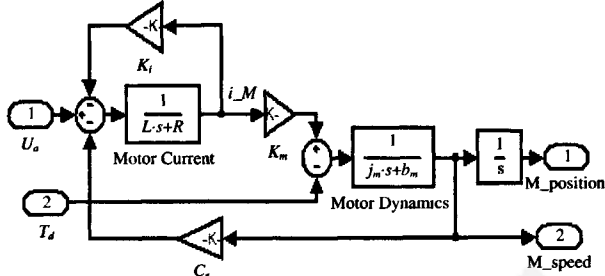


图 2 DC Motor 子模块仿真模型

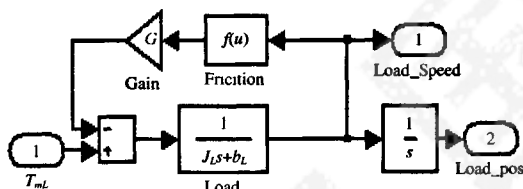


图 3 负载模块仿真模型

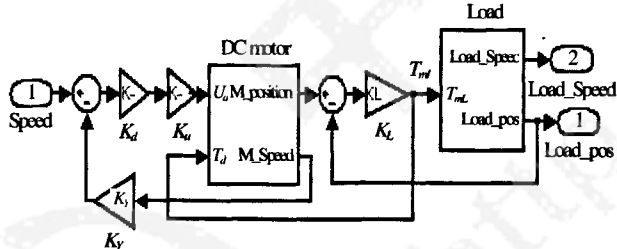


图 4 二质量伺服系统仿真模型

2 模糊自整定 PID 控制器的设计

2.1 模糊自整定 PID 控制器结构

模糊自整定 PID 控制系统结构如图 5 所示。以误差 $|E|$ 和误差变化率 $|E_c|$ 为输入设计二维模糊控制器, 对 PID 参数进行在线自整定, 使被控对象具有良好的动、静态特性。

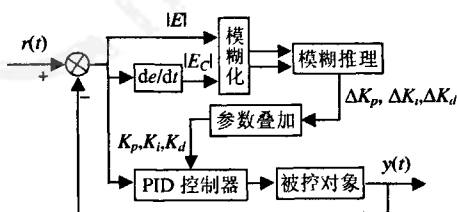


图 5 模糊自整定 PID 控制器结构

2.2 PID 参数整定原则

根据 PID 控制器的 3 个参数对系统输出特性的影响^[2], 可归纳出一般情况下, 在不同的 $|E|$ 和 $|E_c|$ 时, 被控过程对参数 K_p , K_i 和 K_d 的自整定要求为:

(1) 当 $|E|$ 较大时, 为了加快系统的响应速度, 应取较大的 K_p 和较小的 K_d , 同时为了避免系统出现较大的超调, 应对积分加以限制, 甚至去掉积分作用即取 $K_i = 0$ 。

(2) 当 $|E|$ 和 $|E_c|$ 为中等大小时, 为了减少超调, 取较小的 K_p 和 K_i , 此时 K_d 对系统响应影响较大, 取值适中。

(3) 当 $|E|$ 较小时, 为使系统具有良好的稳态性能, 应增大 K_p 和 K_i , 同时为了避免系统在设定值附近出现振荡, 并考虑到系统的抗干扰能力, 应适当的选取 K_d 值, 即当 $|E_c|$ 较小时, K_d 应取大一些; 当 $|E_c|$ 较大时, K_d 取小一些。

2.3 隶属函数和控制规则的确定

根据 PID 参数整定原则, 该模糊控制器是二输入三输出的二维模糊控制器, 其中以 $|E|$ 和 $|E_c|$ 为输入语言变量, 以 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d 为输出语言变量。模糊控制器输入语言变量 $|E|$, $|E_c|$ 和输出语言变量 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d 的论域取值均为“大”(B)、“中”(M)、“小”(S)、“零”(Z) 4 种。相应的隶属度曲线如图 6、图 7 所示。

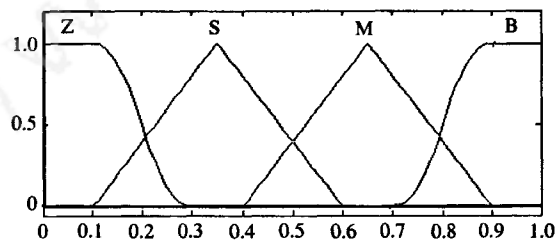


图 6 输入 $|E|/|E_c|$ 的隶属度函数曲线

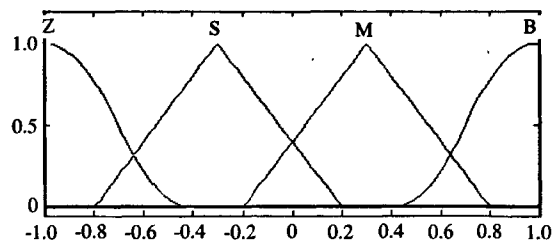


图 7 输出 K_p, K_i, K_d 的隶属度函数曲线

根据上述 PID 参数整定原则及大量试验记录, 可以列出输出变量 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d 的控制规则如表 1 ~ 表 3 所示。

3 二质量伺服系统模糊自整定 PID 控制仿真

3.1 模糊控制器的编辑

利用 MATLAB 提供的 FIS 编辑器来编辑模糊

控制器操作简单,实现和修改方便。在 MATLAB 命令窗口运行 Fuzzy 命令来打开 FIS 编辑器,建立一个 Mamdani 型模糊控制器,依次添加输入/输出变量名、语言变量名、值域范围、隶属度函数类型和隶属度函数;最后依照表 1~表 3,在 Rule Editor 中添加输出变量 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 的控制规则 16 条。

表 1 K_p 控制规则

K_p E	Z	S	M	B
$ E_c $				
Z	Z	S	M	B
S	Z	S	M	B
M	M	S	M	B
B	M	S	M	B

表 2 K_i 控制规则

K_i E	Z	S	M	B
$ E_c $				
Z	B	M	S	Z
S	B	M	S	Z
M	B	M	Z	Z
B	B	S	Z	Z

表 3 K_d 控制规则

K_d E	Z	S	M	B
$ E_c $				
Z	B	B	M	M
S	B	M	M	M
M	M	M	M	S
B	M	S	S	Z

(1) if ($|E|$ is Z) and ($|E_c|$ is Z) then (K_p is Z) (K_i is B) (K_d is B) (1)

(2) if ($|E|$ is Z) and ($|E_c|$ is S) then (K_p is Z) (K_i is B) (K_d is B) (1)

...

建立好模糊控制器之后将其保存,并通过“save to workspace”子菜单将其存入内存缓冲区,以便在 SIMULINK 仿真平台上调用。

3.2 建立系统 SIMULINK 仿真模型

根据图 5 所示的结构图,在 MATLAB 命令窗口输入 SIMULINK 命令,建立模糊自整定 PID 控制器如图 8 所示,联合二质量伺服系统仿真模型(图 4 所示)组成系统仿真模型如图 9 所示。

从图 10 给出的阶跃响应曲线来看,采用模糊自整定 PID 控制二质量伺服系统响应速度快,调节时间少,没有超调量,稳态误差小,比用常规的 PID 控制器控制好。

4 结论

二质量伺服系统虽然较单质量伺服系统复杂,但是更加符合伺服系统应用的实际情况,研究二质量伺

服系统的控制具有很大的实用价值。利用 MATLAB 中的模糊逻辑工具箱可以灵活方便的设计模糊控制器,结合 SIMULINK 环境可以非常直观地构建复杂的控制系统,并仿真、观察控制效果。仿真试验证明,利用模糊自整定 PID 控制二质量伺服系统,比用常规的 PID 控制具有更好的动态特性和稳定性能。

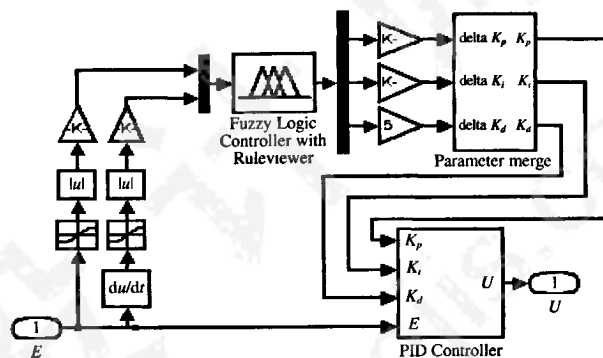


图 8 Fuzzy_PID 控制器

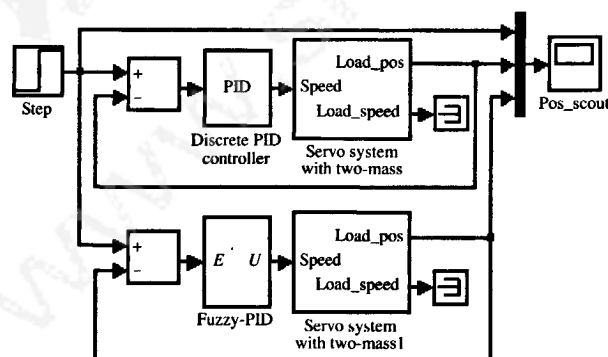


图 9 模糊 PID 和普通 PID 控制比较模型

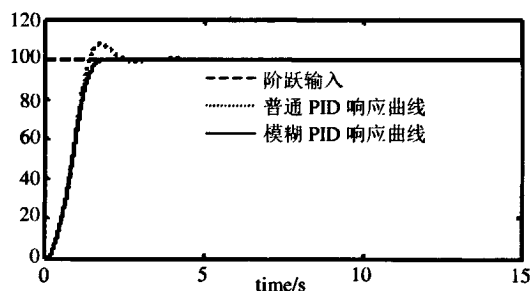


图 10 阶跃响应仿真曲线

参考文献：

- [1] 刘金琨. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [2] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [3] 王三武, 董金发. 基于 MATLAB 模糊自整定 PID 控制器的设计与仿真[J]. 机电工程技术, 2006, (2): 72 - 75.
- [4] Misir D, Malki H K, Chen G R. Design and analysis of a fuzzy PID controller[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 79 (3): 297 - 314.