

文章编号: 1005-0523(2003)01-0020-04

# 基于参数自调整模糊控制的交流伺服系统

颜 静, 孙昌国, 朱晓蕾, 徐 郡

(北京科技大学, 504 信箱, 北京 100083)

**摘要:**设计了一种自调整模糊控制器. 根据模糊控制器输入变量的大小调整模糊控制器的参数和输入变量的权重, 从而自动地调整了模糊控制器规则. 我们把这种自调整模糊控制器引入交流伺服系统中, 作为系统速度的调节器. 实验表明, 这种方法不仅可以提高一般模糊控制的动、静态性能, 而且具有PID控制不可达到的强鲁棒性.

**关键词:**参数自调整; 模糊控制; AC 伺服系统; PID 控制; 鲁棒性

中图分类号: O441

文献标识码: A

## 1 引言

随着模糊控制, 神经网络控制等智能控制理论的逐渐成熟与完善, 它们在工业控制中应用的领域也相应地越来越广泛. 特别是应用在交流伺服系统中, 能够大大提高系统精密控制的动、静态特性. 例如, 若用模糊控制, 可把操作人员在实践中的丰富经验形式化、语言化, 采用模糊推理规则进行控制. 它不需要精确的数学模型, 对调节对象参数的变化不敏感, 具有很强的鲁棒性. 但是, 高性能的交流伺服系统要求响应速度快, 稳态精度高, 一般模糊控制器难于胜任.

因此, 本文提出了一种基于参数自调整模糊控制器(PSAFC), 并将它用于交流伺服系统中. 实验证明, 该方案使系统具有良好的动、静态性能指标.

## 2 交流伺服系统组成及工作原理

该系统主要由计算机、可编程伺服控制器、速度检测器和鼠笼式电动机四部分组成. 系统的框图如图1所示:

1) 系统使用的计算机就是一般的PC机, 它的作

用主要在于当整个系统运行时, 它作为可编程伺服控制器的上位机, 可与控制器进行通讯, 实时的读取控制器从电机输出端反馈的一些参数. 例如: 转速和频率等. 同时, 基于VC++6.0的平台, 来运行已编写好的参数自调整算法程序, 调整输入端的大小, 并写入可编程控制器的E<sup>2</sup>PROM中, 从而使可编程伺服控制器能够实时的改变电机的运行状态.

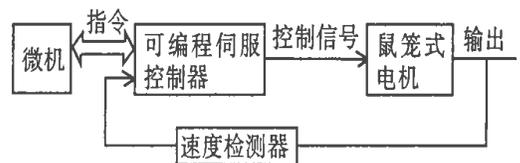


图1 基于参数自调整模糊控制的交流伺服系统

2) 系统使用的可编程伺服控制器主要由控制回路、电源部分和主回路部分等三部分组成.

①控制回路是由32位专用处理器、控制电路以及输入输出电路组成. ②电源部分采用专门设计的开关电源, 向主板提供控制电源. ③主回路部分由整流、滤波和逆变组成.

3) 速度检测器是普通的码盘, 它把电机输出端的速度的反馈信号以脉冲的形式传递至可编程伺服控制器.

收稿日期: 2002-07-28

作者简介: 颜静(1977-), 男, 江西南丰县人, 在读研究生.

### 3 参数自调整模糊控制器的设计

本设计主要包括两部分:模糊控制表的设计和参数自调整表的设计.因为在常规模糊控制器中,量化因子  $K_1$ 、 $K_2$  和比例因子  $K_3$  是固定的.而它们的大小对模糊控制器性能的影响很大,显然选取一组定值不能满足系统的动、静态两方面的要求.为此采用参数自调整的方式,根据输入量的大小,控制器选取不同的  $K_1$ 、 $K_2$  和  $K_3$  以综合各方面的优势.

根据整个交流伺服系统的特点,我们定义这个参数自调整模糊控制器(PSAFC)为双输入单输出系统,输入端为系统转速的偏差( $e$ )和系统转速的偏差的变化率( $ec$ ).控制器的原理图如下图 2:

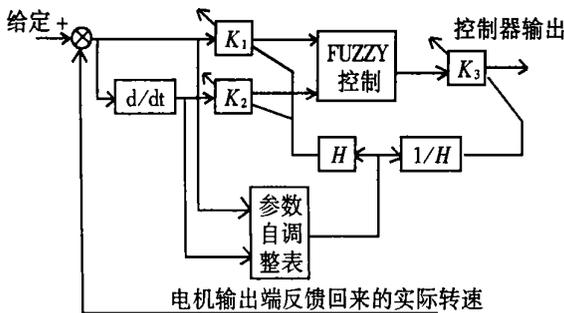


图 2 参数自调整模糊控制器原理图

#### 3.1 模糊控制表的设计

##### 1) 输入输出量的模糊化

把系统转速的偏差  $e$ 、转速的偏差的变化率  $ec$  和模糊控制器输出控制量  $u$  的变化范围定义为  $[-6, 6]$  之间变化的连续量,然后再将这些连续的精确量离散化,如下所示:

$T(e) = \{NB(\text{负大}), NM(\text{负中}), NS(\text{负小}), NZ(\text{负零}), PZ(\text{正零}), PS(\text{正小}), PM(\text{正中}), PB(\text{正大})\}$

偏差的模糊论域里区分了  $+0$  和  $-0$  目的是为了 提高系统的稳态精度.

$T(ec) = T(u) = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$

以上对  $e$ ,  $ec$  和  $u$  这三个量的论域进行了模糊化,这是符合人们思维特点的三角形.

##### 2) 模糊推理与模糊规则表的建立

首先,根据人对事物的判断往往沿用正态分布的思维特点,对  $E, EC, U$  均使用正态分布的隶属度:

$$\mu(x) = \exp\left\{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^2\right\} \quad (1)$$

其次,由于本文设计的模糊控制器是双输入单输出系统,故可采用“if  $E$  and  $EC$  then  $U$ ”来描述.例如: $E$  为  $PB$ ,  $EC$  为  $PB$  时,为尽快消除偏差,应使控制量增加较快,故  $U$  取  $PB$ .同理可以推出所有的控制规则.从而形成一张模糊控制状态表.如表 1 所示:

表 1 模糊控制规则表

$U \begin{matrix} EC \\ E \end{matrix}$	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
NZ	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
PZ	NM	NB	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

##### 3) 清晰化计算

已知模糊控制器的输入量为  $E, EC$ , 则根据上面形成的模糊控制规则表进行及时推理,可以得出输出模糊量  $U$  为:

$$U = (E \times EC)^T \circ R \quad (2)$$

$(E \times EC)^T$  的含义是把  $E \times EC$  这个  $n \times m$  模糊矩阵按行拉直成  $nm$  元模糊行向量,这样  $U$  的最后计算结果就是  $t$  元的模糊行向量.  $R$  用来表示模糊控制表的一个模糊关系.

然后,利用加权平均法,对所求得输出量模糊集合进行清晰化计算,并且对输出量的值取整,这样可以求得输出量  $U$  的控制表,如表 2 所示:

表 2 模糊控制表  $U$

$U \begin{matrix} EC \\ E \end{matrix}$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-4	-3	-2	-1	0
-5	-6	-6	-6	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-1	-1	0
-4	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-3	-2	-1	0	0
-3	-6	-5	-4	-5	-4	-3	-3	-3	-2	-1	0	0	0
-2	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-1	-1	0	0	0	1
-1	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	1	1	2
-0	-4	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	1	1	2	2	3
+0	-3	-3	-1	-2	-1	0	0	1	1	2	2	3	3
1	-2	-2	0	-1	0	1	1	1	2	2	3	4	4
2	-2	0	0	0	1	1	2	3	3	4	5	5	5
3	-1	0	0	1	2	2	3	4	5	5	5	6	6
4	-1	0	1	1	2	3	4	5	5	5	5	6	6
5	0	1	1	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6
6	0	2	3	4	4	4	5	5	6	6	6	6	6

#### 3.2 参数模糊调整表的设计

在常规模糊控制器中,某一瞬时模糊控制器输出量  $U(n)$  与  $E(n)$ ,  $EC(n)$  的关系如下式所示:

$$U(n) = [E(n) \times EC(n) \circ R] \quad (3)$$

式中  $\times$  —— 笛卡尔积运算符  
 $\circ$  —— 模糊关系合成运算

$$E(n) = INT[e(n)k_1]$$

$$EC(n) = INT[ec(n)k_2]$$

相应的控制器的实际输出为:

$$u(n) = k_3 \sum_{i=1}^n \{ [e(i)k_1][ec(n)k_2] \} \circ R$$

$$y(n) = f[u(n)]$$

$$= f\{ k_3 \sum_{i=1}^n \{ [e(i)k_1][ec(n)k_2] \} \} \quad (4)$$

由上(4)式可知,  $y(n)$  不仅与当前的采样时刻  $nT$  之前的  $e, ec$  有关,而且与  $k_1, k_2, k_3$  有关.特别是,  $y(n)$  与  $k_1, k_2, k_3$  并不是简单的线性关系,而是建立在  $e, ec, u$  三维空间的非线性关系.因此,对于  $k_1, k_2, k_3$  的调整应是动态,这样才能使系统性能不断改善,以适应不断变化的情况.为了做到对  $k_1, k_2, k_3$  的动态调整,即控制器参数的自调整,我们必须深刻的理解  $k_1, k_2, k_3$  的变化与系统的动、静态特性之间的关系,总结如下:

1)  $k_1$  选得加大的时候,系统的超调也较大,过渡时间较长,甚至使系统振荡.而  $k_1$  选的较小时,系统动态过程变慢,并且稳态误差变大.

2)  $k_2$  主要影响系统动态特性.  $k_2$  选择较大时,超调量减小,但是系统的响应时间变长了.相反,  $k_2$  太小就会导致产生过大的超调或者小幅度的振荡.

3)  $k_3$  主要影响系统的响应,  $k_3$  取得过大的,会导致系统的输出速率发生剧烈的变化,从而使系统输出存在非常大的波动,可能会导致幅振荡甚至发散,而  $k_3$  过小又会使系统的稳态误差增大.

基于对上述  $k_1, k_2, k_3$  等参数的变化对于系统的动、静态特性有很大影响的特点.因此,我们在设计参数自调整模糊控制器时,其基本思想是引入人们经验中的“粗调”和“细调”,根据实际的  $E$  和  $EC$  的大小不断的调整  $k_1, k_2, k_3$ .当  $E$  和  $EC$  很大时,控制系统的主要任务是减小误差,加快动态过程,而  $E$  和  $EC$  的分辨率不是主要矛盾,应取较大的控制量,所以可以减小  $k_1, k_2$  降低  $E$  和  $EC$  的分辨率,而加大  $k_3$  可以提高响应速度;当  $E$  和  $EC$  很小时,减小系统的超调和稳态误差时主要的,所以可以提高

$k_1, k_2$  来提高  $E$  和  $EC$  的分辨率,而减小  $k_3$  获得小的控制量,使系统超调和稳态误差都减小.由以上分析可见,这里  $k_1, k_2$  和  $k_3$  的变化趋势正好相反,所以为了方便起见,  $k_1, k_2$  变化的倍数和  $k_3$  变化的倍数可以取成互为倒数.

在模糊调整表设计中,其输入语言变量与控制表的相同,仍为  $E$  和  $EC$ .设  $k_1, k_2$  变化的倍数为  $h$ ,其模糊集为:

$$H = \{ \text{大增}(LA), \text{中增}(MA), \text{小增}(SA), \text{不变}(C), \text{小缩}(SC), \text{中缩}(MC), \text{大缩}(LC) \}$$

考虑到最低转速和系统的稳态精度等因素,可确定  $H$  的论域为:

$$H = \{ 16, 8, 4, 1, 1/4, 1/8, 1/16 \}$$

用设计模糊控制表相同的方法,确定模糊调整表如表 3 所示.

表 3 模糊调整表  $h$

$EC \backslash E$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	0.0625	0.125	0.25	1	1	1	1	1	1	1	0.25	0.125	0.0625
-5	0.125	0.25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.25	0.125
-4	0.25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.25
-3	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1
-2	1	1	1	4	8	8	8	8	8	8	4	1	1
-1	1	1	1	4	8	8	8	8	8	8	4	1	1
0	1	1	1	4	8	16	16	16	8	4	1	1	1
+0	1	1	1	4	8	16	16	16	8	4	1	1	1
1	1	1	1	4	8	16	16	16	8	4	1	1	1
2	1	1	1	4	8	8	8	8	8	4	1	1	1
3	1	1	1	4	4	4	4	4	8	4	1	1	1
4	0.25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.25
5	0.125	0.25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.25	0.125
6	0.0625	0.125	0.25	1	1	1	1	1	1	1	0.25	0.125	0.0625

工作时,按需按  $E$  和  $EC$  的值查相应的表格,最终可获得控制电机转速的输出量  $u$ .整个自调整模糊控制器的算法步骤:

- ①根据原始的量化因子计算出  $E' = k_1 e, EC' = k_2 ec, E'$  和  $EC'$  均为整数;
- ②用  $E'$  和  $EC'$  查询模糊调整表得到调节倍数  $h$ ;
- ③使用  $h$  调整输入  $E', EC'$ , 得  $E = E'h, EC = EC'h$ ;
- ④用  $E, EC$  查询模糊控制表,得到控制量  $U$ ;
- ⑤最后得到用于控制对象的控制量  $u = k_3 U/h$ .

### 3.3 自调整模糊控制器自寻优

由上节的分析可知,自调整模糊控制器有  $k_1, k_2, k_3$  这三个基本参数.在实际系统中,我们通过不断选取  $k_1, k_2, k_3$  的大小,来得到系统的最佳控制性能,但是这样有一定的盲目性,甚至很难调整为一

组最佳的参数. 所以我们通过给出一个性能指标自寻优的办法, 来得到一组最佳参数, 一般采用 ITAE 积分性能指标, 即:

$$J(ITAE) = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \quad (5)$$

这个 ITAE 积分性能指标能够综合的评价控制系统的动、静态性能, 如响应快、调节时间短、超调量小以及稳态误差也很小等等. 为了便于计算机实现, 把 ITAE 积分性能指标转化为离散形式如下:

$$\Delta J(ITAE) = t |E| T \quad (6)$$

式中  $T$  为采样周期,  $t$  为当前时间

根据上式表示的性能指标, 作为目标函数, 寻优过程则根据目标函数逐步减小的原则, 不断的校正  $k_1, k_2, k_3$  这三个参数的取值. 从而得到一组最佳参数.

## 4 仿真与试验

系统使用的电机为 YSF-200 型三相鼠笼式异步电动机, 其参数为:  $P_N = 200 \text{ W}$ ,  $U_N = 380 \text{ V}$ ,  $f_N = 60 \text{ Hz}$ ,  $n_N = 1228 \text{ r/min}$ , Y 接. 分别编写 PID 控制和 PSAFC 的程序, 其实验结果如下:

从图 3 中可以看出, PID 控制调节时间长, 超调量比较大, 在达到稳态后仍有波动; 而 PSAFC 的性能明显提高, 系统响应加快, 超调量进一步减小, 稳态时运行平稳. 上述设计在实验装置上进行了成功的控制. 证明本文提出的参数自调整模糊控制的设计方法是正确的.

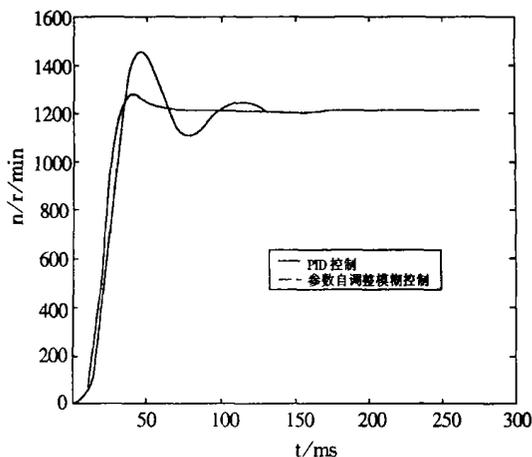


图 3 PID 和 SAFC 的仿真图

## 5 结论

本文将用于交流伺服控制系统的参数自调整模糊控制 (PSAFC) 的设计, 归结为模糊控制表和模糊调整表的设计. 仿真和试验结果表明, 该系统采用量化因子的实时在线修改的方案与传统的 PID 控制方案相比较, 它既可以加快系统的响应速度又可以提高分辨率, 使系统有良好的动、静态特性.

## 参考文献:

- [1] 孙增系, 等. 智能控制理论与技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [2] 曹承志, 曲红梅. 电力电子技术[J]. 2001, 1.
- [3] 王学慧, 田成方. 微机模糊控制理论及其应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1987.
- [4] Lee C C. Fuzzy Logic in control system; Fuzzy Controller IEEE Trans, on SMC 1990.

# Ac Servo System based on Parameter Self-adjusting Fuzzy Control

YAN Jing, SUN Chang-guo, ZHU Xiao-lei, Xu Jun

(Beijing University of Science and Technology, Box 504 Beijing, 100083 China)

**Abstract:** In this paper, a self-adjusting fuzzy controller is designed, which adjusts the fuzzy rule base according to adjusting the parameters of the fuzzy controller and the weights of each input variable by the values of input variables. The self-adjusting fuzzy controller is used as the speed controller of a AC servo system. The experiment results prove that the method can not only improve general fuzzy controller's steady-state precision and dynamic performance, but also obtain strong robustness which PID controller never obtains.

**Key words:** parameter self-adjusting; fuzzy control; AC servo system; PID control; robustness