

水轮机模糊调速器研究

刘建业 郑玉森 张炳达

(天津大学电力及自动化系, 300072)

摘要: 本文提出了一种直接测辨模糊控制决策表的新方法, 这个方法简单、有效、实用, 为克服一般模糊控制存在较大静差的缺陷, 本文设计了一种带选择开关的双积分并联复合控制结构, 这种结构在克服积分饱和、缩短调节时间、消除静态误差、改善动态品质等方面是非常有效的。

关键词: 水轮机; 模糊控制; 调速器

1 引言

目前正在运行的水轮机电液调速器大多数采用PID调节, 其调节参数通过现场试验摸索, 整定一组固定的数值, 去适应各种不同工况下的运行状态。因为水轮机调速系统具有非线性性和时变性的特点, 而不能表示为确定的数学模型, 因此采用上述经典的控制技术, 难得满意的结果。为了提高运行的技术水平, 研究和设计具有智能化和鲁棒性的新型调节器, 是当前人们关切的热门课题。

自从模糊理论问世以来, 模糊控制技术有了长足的发展, 许多工业控制的成功例子, 都证实了模糊控制对被控对象参数变化的不敏感性, 从而具有较强的鲁棒性, 同时它还便于渗透人们的成功经验而形成智能控制。因此水轮机模糊调速器的研究得到人们的重视并取得了一些可喜的成果。在此基础上, 我们通过仿真研究, 提出一个建立模糊控制决策表的新方法和一个模糊控制器的新结构。

2 直接测辨模糊控制决策表的新方法

文献[1, 2]按照模糊控制器设计的一般理论, 分别研究了水轮机调速器的模糊控制, 针对普通模糊控制存在静差的缺点, 分别提出了模糊控制与积分调节并联复合结构, 和增加量化因子的模糊修正的“双表”结构。以上方案对克服静态误差有较好的控制效果, 但在模糊控制器的实现过程中存在隶属度赋值没有依据; 模糊控制规则准确归纳困难; 模糊推理合成及判决运算量大且丢失大量信息, 而且不便在计算机上编程设计模糊控制决策表。文献[3]针对模糊控制规则难以准确归纳这一问题, 提出了一种测辨模糊控制规则的方法——Fuzzy推理合成法。但依然避免不了上述的其他问题。

鉴于上述, 本文提出了一种直接测辨模糊控制决策表的新方法, 其步骤如下:

1) 应用多变量最小二乘回归方程法^[4], 拟合成功的控制系统输入量与输出量间的函数关系。

2) 量测数据组的Fuzzy化, 包括:

①确定系统输入和输出的语言变量Fuzzy子集论域;

②对输入和输出语言变量在已确定的论域内进行量化.

3) 控制函数的离散化(模糊化),即建立模糊控制决策表.

下面以水轮机调速器的模糊控制为例来说明这个方法.

用于辨识模糊控制决策表的数据组,来源于江西白云山水电站 1[#] 机组成功的微机 PID 调速系统^[5]. 用其现场实录波形图,得到了 43 组 (e, e_c, u) 数据, e 是频差, e_c 是频差变率, u 是控制量.

应该注意,经过向成功的自控系统“学习”,建立模糊控制决策表,其实用效果至多只能接近或达到该系统的水平,为提高控制性能,需要对控制表进一步优化调整. 同时,现场实测数据组时,应尽可能覆盖输入、输出语言变量的变化范围,并能包容各种调节过程. 还要注意过程的初始阶段,因为其中控制量和被控制量有较大的变化,因此要尽可能多测几组数据.

建立模糊控制决策表的过程如下:

1) 应用文献[4]中的多元线性最小二乘回归方程的计算机处理方法,对上述 43 组数据进行拟合,取得以下结果:

$$u = b_0 + b_1 e + b_2 e_c \\ = 0.00225130535 + 1.31628519e - 1.33820343e_c. \quad (1)$$

同时求得: 残差平方和 $Q = 0.201249745$;

回归平方和 $U = 0.687669704$;

剩余标准差 $S = 0.0709312598$;

显著性检验 $F = 68.3399332$.

取置信概率: $\alpha = 0.005$, 由第一自由度 $n_1 = l = 2$, 第二自由度 $n_2 = 43 - 2 - 1 = 40$, 查[4]中的 F 分布表, 得 $F_{2,40,0.005} = 6.07$. 因为 $F > F_{2,40,0.005}$, 说明拟合函数(1)的可信度很高, 其结果可用来建立模糊控制决策表.

2) 根据现场实测数据, 找出 e, e_c, u 的变化范围, 并划分量化等级, 求出量化因子, 用于计算它们的量化值:

$$E = \text{int}(e \cdot K_e); \quad E_c = \text{int}(e_c \cdot K_{e_c}); \quad U = \text{int}(u \cdot K_u). \quad (2)$$

式中量化因子

$$K_e = P_e / (e_{\max} - e_{\min}); \quad K_{e_c} = P_{e_c} / (e_{c\max} - e_{c\min});$$

$$K_u = q_u / (u_{\max} - u_{\min});$$

int 表示整函数. P_e 表示 e 在论域 $(e_{\max}, e_{\min})$ 内划分成 P_e 个量化等级; P_{e_c} 表示 e_c 在论域 $(e_{c\max}, e_{c\min})$ 内划分成 P_{e_c} 个量化等级; q_u 表示 u 在论域 $(u_{\max}, u_{\min})$ 内划分成 q_u 个量化等级.

3) 建立模糊控制决策表. 取 E 和 E_c 各量化域的中间值为各量化等级的代表值, 将它们以尽可能的组合方式代入函数式(1)求 u . 然后用取整函数式(2)求取量化等级 U , 于是便建立起示于表 1 的模糊控制决策表.

微机模糊控制器, 根据 E 和 E_c 的量化等级查存在 EPROM 中的表 1, 求取 U , 再反量化为模拟量 u 输出, 这就是模糊判决的过程.

表 1 水轮机调速器模糊控制决策表

$U \backslash E_c$	E	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6		-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3
-5		-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3
-4		-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3
-3		-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2
-2		-3	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2
-1		-3	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2
0		-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
1		-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	1	1	1
2		-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	1
3		-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0

3 模糊-双积分并联变结构复合控制

尽管实践表明,模糊控制有许多优点,但它依然存在一些不足,例如,存在静差和在工作点附近容易产生小范围的振荡.究其原因,是由于 E 和 E_c 被量化环节离散分档后,丢失部分信息形成不连续而造成调节死区所致.为此,本文提出一种新的控制方案,即模糊-双积分并联变结构复合控制.它能够克服上述缺陷,能够实现水轮机转速的有差调节,和无静差输出,从而缩短调节时间和明显改善系统的动态特性.其原理如图 1 所示.

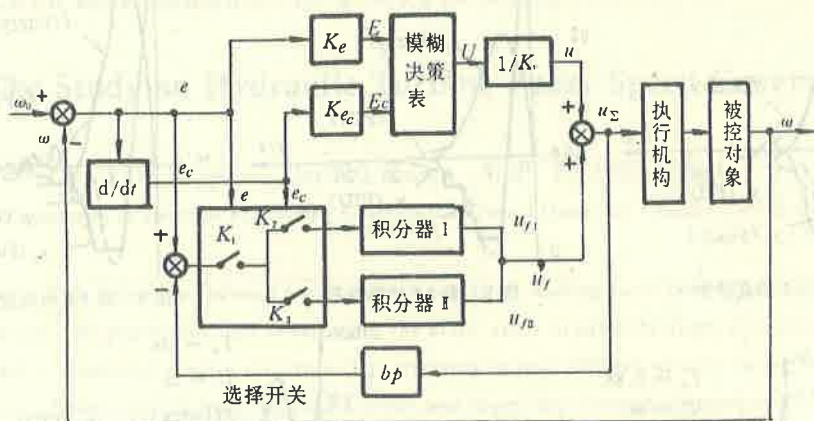


图 1 模糊-双积分并联变结构复合控制原理图

图 1 中的积分器输出:

$$u_{f1(n)} = u_{f1(n-1)} + K_i T [e_{(n)} - b_p u_{\Sigma(n-1)}];$$

$$u_{f2(n)} = u_{f2(n-1)} + K_{i_c} T [e_{c(n)} - b_p u_{\Sigma(n-1)}].$$

式中, K_i 和 K_{i_c} 是与 e 和 e_c 大小有关的积分增益, T 是采样周期, $u_{f1(n)}$, $u_{f2(n)}$ 和 $u_{f1(n-1)}$, $u_{f2(n-1)}$ 是本次和上次积分器输出, $e_{(n)}$ 是本次频差, $u_{\Sigma(n-1)}$ 是调速器上次输出, b_p 是调差系数. 图 1 中的选择开关, 用来根据 e 和 e_c 的大小不同, 分别选择切除积分器, 或是接入其中之一, 从而实现复合和变结构控制, 实际上它的操作依据是一组条件执行语句.

4 模糊控制和 PID 控制仿真及其性能比较

本文建立模糊控制决策表所依据的数据组, 其调速系统的结构参数为: 接力器反应时间

常数 $T_g = 0.2s$, 水流惯性时间常数 $T_w = 0.6s$, 机组机械惯性时间常数 $T_a = 5s$; 调节参数为: 比例增益 $K_p = 5.6$, 积分增益 $K_I = 2.0$, 实际微分增益 $K_D = 0.18$. 在不变 PID 调节参数和不改变模糊控制器的参数和结构的条件下, 选择几组不同结构参数的调速系统, 分别作用 100% 负荷的仿真计算, 有关数据列于表 2, 波形示于图 2 ~ 6, 图中 α_0 是空载开度标么值, f 是机频, y 是开度标么值.

表 2 Fuzzy 控制和 PID 控制调节性能比较

编 号	方式 数据 结构参数	PID 控制			Fuzzy 控制		
		指标					
		超调量	调节时间	稳定性	超调量	调节时间	稳定性
I	$T_w = 0.6, T_a = 5$	30.6%	13s	稳	30.2%	9s	稳
II	$T_w = 0.5, T_a = 6$	24.4%	12s	稳	24.0%	10s	稳
III	$T_w = 0.6, T_a = 4$	37.2%	>20s	稳	36.9%	14s	稳
IV	$T_w = 0.8, T_a = 5$	34.2%	∞	不稳	33.9%	14s	稳
V	$T_w = 1.5, T_a = 5$	49.8%	∞	不稳	49.2%	>20s	稳

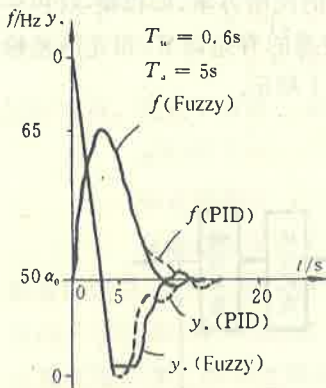


图 2 表 2 I 仿真波形

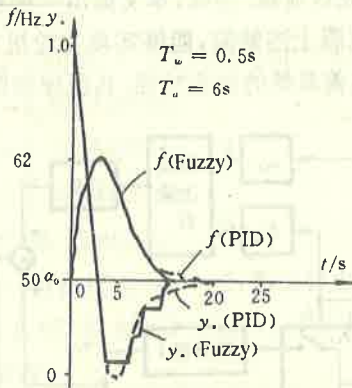


图 3 表 2 II 仿真波形

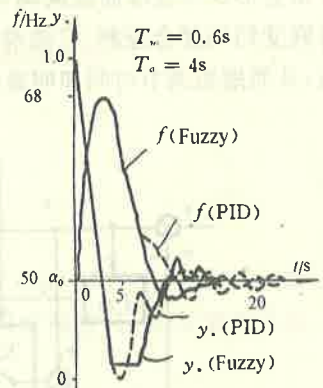


图 4 表 2 III 仿真波形

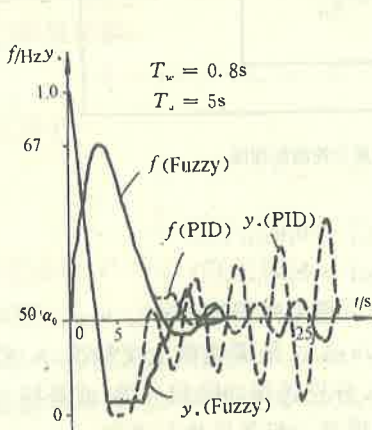


图 5 表 2 IV 仿真波形

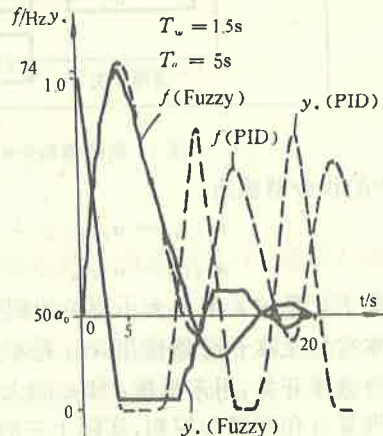


图 6 表 2 V 仿真波形

比较仿真结果表明, Fuzzy 控制显然具有良好的动态性能, 且对系统结构参数的变化不敏感, 表现出很强的鲁棒性. 同时, 上述结果证明了本文提出的直接测辨 Fuzzy 控制决策表

的方法是正确的,模糊-双积分并联变结构复合控制是行之有效的.

5 结 论

1) 本文首先提出的直接测辨模糊控制决策表的新方法,既简单有效,又实用可靠.它适用于对输入量与输出量具有良好线性关系的控制系统进行控制模型辨识.

2) 采用本文给出的确定量化因子 K_e, K_c, K_u 和建立决策表的方法,以及双积分并联变结构方案,可以获得较强的鲁棒性和良好的动态品质.

3) Fuzzy 控制过程中,查表迅速,推理判决简单可靠,同时由于模糊控制规则条文之间的相对独立性,使个别规则的误差不致于破坏全局,因此整个控制逻辑系统失误的可能性较小.总之,模糊控制相对于 PID 控制显得更简单实用和更有适应性.

参 考 文 献

- [1] 李植鑫,陈启卷.水轮机调节系统 FUZZY 控制研究.武汉水力电力学院学报,1989,22(5):66—73
- [2] 张建国.模糊控制器在水轮机调节中的应用.大电机技术,1993,(4):46—50
- [3] 李友善,赵福顺.应用 FUZZY 集合理论测辨系统 FUZZY 模型的新方法——FUZZY 推理合成法.自动化学报,1991,17(3):257—263
- [4] 李兰馨.过程数据的计算机处理.北京:清华大学出版社,1989,82—84,332—343
- [5] 郑玉森,刘志红.单片机调速器调节性能分析.电力系统及其自动化学报,1991,(2):15—21

The Study on Hydraulic Turbine Fuzzy Speed Governor

LIU Jianye, ZHENG Yusen and ZHANG Bingda

(Department of Electrical Engineering & Automation, Tianjin University • Tianjin, 300072, PRC)

Abstract: This paper put forward a new method for direct making fuzzy control table. The Method is simple, efficient, and practicable. For overcoming the static error in ordinary fuzzy control, this paper designed a kind of compound control structure. The structure is very efficient in overcoming integral saturation, reducing adjustment time, removing static error, and improving dynamic characteristic.

Key words: hydraulic turbine; fuzzy control; speed governor

本文作者简介

刘建业 1965 年生. 1987 年在天津轻工业学院获工学学士学位. 1995 年在天津大学电力及自动化系获工学硕士学位. 现在河北机电学院任讲师. 研究兴趣是系统辨识和智能控制.

郑玉森 1937 年生. 1961 年毕业于天津大学. 现任天津大学电力及自动化系副教授. 从事教学、科研和指导研究生工作. 研究方向是电力系统运行与控制, 曾研究成功水力发电机的单片微机调速器. 目前研究领域主要是同步发电机的速度和电压的控制和调节.

张炳达 1959 年生. 1982 年获华南理工大学学士学位. 1988 年在清华大学电机系获硕士学位. 现在天津大学电力及自动化系任讲师. 研究兴趣为电力系统监测和自适应控制, 目前主攻方向为电力系统仿真.