

文章编号:1671-6833(2003)02-0096-03

基于模糊控制理论的水轮发电机组调速器侧PSS 研究

王明东, 刘宪林

(郑州大学电气工程学院,河南 郑州 450002)

摘 要: 由于引水系统的水锤效应和水轮机的强非线性特性,水轮发电机组采用常规调速控制对于改善电力系统稳定性难以取得满意的效果.采用水力系统弹性水击模型和同步发电机非线性模型,基于模糊控制理论设计了水轮发电机组调速器侧模糊电力系统稳定器(FGPSS),应用SIMULINK 对其效果进行了仿真研究.结果表明,FGPSS 能够较好地改善机组的动态性能,具有较强的鲁棒性.

关键词: 水轮发电机;模糊控制;电力系统稳定器(PSS) SIMULINK

中图分类号: TM 712 **文献标识码:** A

0 引言

电力系统稳定器(PSS)是改善电力系统稳定性的简单而有效的措施.PSS 一般在发电机组励磁系统侧装设(称EPSS)^[1],也可以在调速器侧装设(称GPSS)^[2,3].GPSS 只影响本机的原动机力矩,具有多机解耦特性,不像EPSS 那样存在安装地点选择和参数协调问题.但由于引水系统的水锤效应和水轮机的强非线性特性,目前关于水轮发电机组GPSS 方面的研究较少^[4].

本文采用引水系统的弹性水击模型和同步发电机非线性模型,基于模糊控制理论设计了水轮发电机组模糊电力系统稳定器(FGPSS),并应用Simlink 对FGPSS 在单机无穷大系统上的应用效果进行了仿真研究.

1 控制对象的数学模型

本文以单引水管道水轮发电机组-无穷大容量电力系统为研究对象,如图 1 所示.

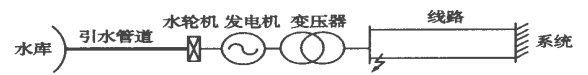


图 1 水轮发电机组-无穷大容量电力系统
Fig.1 A single hydrogenerator unit -infinite bus power system

水轮机及其引水系统的数学模型用图 2 所示的方框图表示.

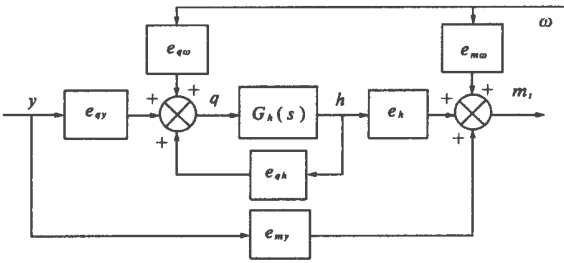


图 2 水轮机及其引水系统数学模型
Fig.2 Model of hydraulic system

图中, e_{qy} 、 e_{qh} 、 e_{qw} 、 e_{mf} 、 e_{mh} 、 e_{mw} 分别为水轮机流量 q 和力矩 m_t 对导叶开度 y 、水头 h 和转速 ω 的传递系数,其数值与运行工况有关,可用内特性法或水轮机模型综合特性曲线计算^[3]; $G_h(s)$ 为引水系统传递函数,计及水击弹性,其表达式为

$$G_h(s) = -2 \frac{T_w}{T_r} \text{th}(\frac{T_r}{2}s) \approx -\frac{T_w s}{1 + \frac{T_r^2}{8}s^2} \quad (1)$$

式中: T_w 为水流惯性时间常数; T_r 为水击波反射时间常数.

调速系统的模型如图 3 所示.图中 $G_c(s)$ 为调整器传递函数

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_D s \quad (2)$$

式中: K_p 、 K_i 、 K_D 分别为比例、积分和微分系数; $G_s(s)$ 为接力器传递函数

$$G_s(s) = \frac{1}{T_s s + 1} \quad (3)$$

式中： T_s 为接力器时间常数。

励磁系统采用一阶模型，同步发电机—电力系统采用三阶模型^[3]。

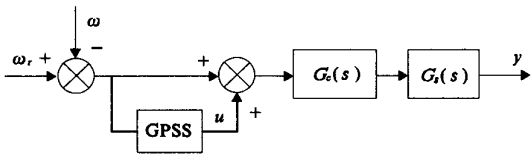


图 3 调速系统模型
Fig. 3 Model of governing system

2 模糊 GPSS 的设计

FGPSS 采用如图 4 所示的单变量二维输入结构，输入信号为机组的转速误差和误差的导数。先将转速误差及其导数模糊化，再经模糊推理得到模糊输出量，最后对模糊输出量清晰化，得到实际的输出控制量。

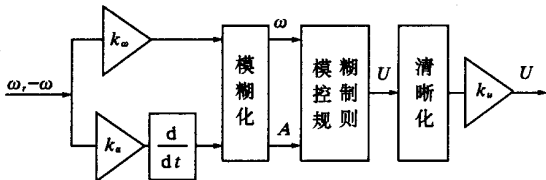


图 4 模糊 GPSS 的结构
Fig. 4 Construction of fuzzy GPSS

将测量得到的转速误差及其导数设定为 $[-6, 6]$ 之间的连续变化量，再对其模糊离散化得到模糊量 W 和 A 的若干档，每一档对应一个模糊子集。本文将 W 分为 8 档， A 分为 5 档，模糊输出量 U 分为 7 档。它们的模糊子集定义如下：

- W : {NB , NM , NS , NZ , PZ , PS , PM , PB }
- A : {NB , NS , ZO , PS , PB }
- U : {NB , NM , NS , ZO , PS , PM , PB }

其中：N、Z(ZO)和P 分别表示负、零和正；B、M 和 S 分别表示大、中和小。模糊输出量的清晰化采用重心法。实际输出量 U 的量化论域设定为 $[-1, 1]$ 。输入输出量的隶属函数均选用三角形隶属函数。

根据水轮发电机组调速系统控制要求和操作人员的经验，可以制定 FGPSS 的模糊规则如表 1 所示。

模糊推理采用 Mamdani 推理算法，对表 1 给出的 40 条规则分别通过计算，求出相应的模糊关系 R_i ：

$$R_i = W_i A_i U_i, \quad (i = 1, 2, \dots, 40)$$

全部规则所对应的模糊关系 R ，用取并的方法得到：

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_{40}$$

系统运行时，根据模糊控制器的输入 W 和 A ，用 R 进行模糊推理合成运算，求出相应的模糊输出 U ：

$$U = (WA) \circ R$$

表 1 模糊控制规则
Tab. 1 Fuzzy control rules

W	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NW	NS
NM	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	NM	NM	NS	ZO	ZO
NZ	NM	NS	ZO	ZO	PS
PZ	NS	ZO	ZO	PS	PM
PS	ZO	ZO	PS	PM	PM
PM	ZO	PS	PM	PM	PB
PB	PS	PM	PB	PB	PB

3 仿真研究

水轮发电机组-无穷大容量系统的具体参数为： $T_w=2\text{s}$ ， $T_r=0.4\text{s}$ ， $H=30.5\text{m}$ ， $T_s=5\text{s}$ ， $D=1$ ， $T_j=7.44\text{s}$ ， $\omega_N=314\text{rad/s}$ ， $x_d=0.973$ ， $x_q=0.55$ ， $x'_d=0.19$ ， $T'_{d0}=7.76\text{s}$ ， $k_e=20$ ， $T_e=0.05\text{s}$ ， $x_1=0.5$ 。各标么参数以机组额定参数为基准。仿真中使用的 PID 控制器的参数为

$$K_p=10, K_i=1.5, K_D=0.1,$$

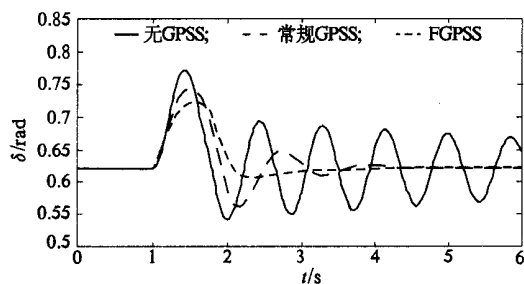
常规 GPSS 的传递函数为

$$G_a = \left[\frac{s+1}{0.08s+1} \right]^2 \cdot \frac{3s}{2s+1}, \quad (7)$$

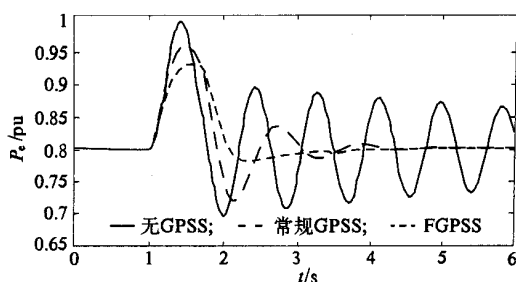
FGPSS 的量化因子和比例因子分别为

$$k_\omega=93, k_\alpha=19, k_u=3.6.$$

应用 Simulink 对小扰动和大扰动两种情况下的系统动态过程进行仿真计算。系统初始运行点为 $P_0=0.8$ 、 $Q_0=0.5$ 、 $V_s=1$ 。小扰动为： $t=1\text{s}$ 时产生强度为 0.1pu 、持续时间为 0.7s 的力矩扰动；大扰动为： $t=1\text{s}$ 时在一回输电线路首端发生三相短路， 1.1s 故障线路切除， 1.6s 重合闸成功。两种情况下功角 δ 和电磁功率 P_e 的仿真曲线分别如图 5、图 6 所示。



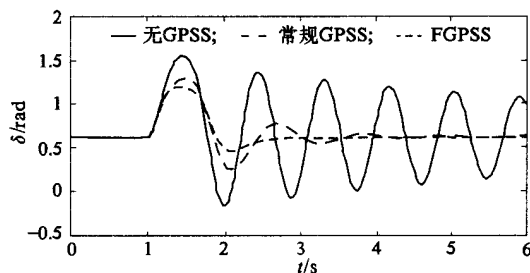
(a) 功角仿真曲线



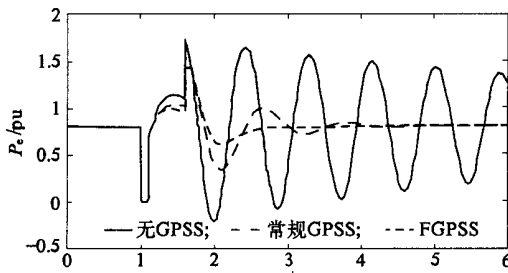
(b) 有功功率仿真曲线

图 5 小扰动动态曲线

Fig. 5 Dynamic curves for a small disturbance



(a) 功角仿真曲线



(b) 有功功率仿真曲线

图 6 大扰动动态曲线

Fig. 6 Dynamic curves for a large disturbance

由图 5、6 可见,与仅采用 PID 控制和装设常规 GPSS 控制两种情况相比较,水轮发电机组装设 FGPSS 对于改善系统的小扰动稳定性和大扰动稳定性都具有明显的作用,鲁棒性较强。

4 结论

本文基于模糊控制理论,针对单引水管道水轮发电机组一无穷大容量系统设计了 FGPSS。对采用 PID、PID+常规 GPSS 和 PID+FGPSS 三种控制方式的控制效果进行了仿真对比研究。仿真结果表明 FGPSS 对于改善水轮发电机组的动态性能具有良好的作用,并且具有较强的鲁棒性。

参考文献:

- [1] 刘宪林,柳焯,姜和恭.抽水蓄能电机发电与抽水工况动态稳定性的对称性[J].郑州工业大学学报,2000,21(4):23~26.
- [2] 余耀南.动态电力系统[M].北京:水利电力出版社,1985.
- [3] 郝玉山,王海风,韩祯祥,等.电力系统稳定器实现于调速系统之研究(1):可行性分析[J].电力系统自动化,1992,16(5):36~40.
- [4] 王云,何利铨.模糊线性最优 HGPSS 原理[J].贵州工业大学学报,1998,27(4):62~66.
- [5] 刘宪林.基于同步机和水系统详细模型的电力系统小扰动稳定研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2002.

Study of Power System Stabilizer for Hydro generator's Governor Based on Fuzzy Theory

WANG Ming-dong, LIU Xian-lin

(College of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The effect for power system stability improvement by using the conventional hydro generator governor isn't satisfied because of the hydraulic system's water hammer effect and intense nonlinear characteristic. Based on the fuzzy control theory this paper designs a fuzzy governor power system stabilizer (FGPSS) for the hydro turbine generator considering the elastic water hammer mode of hydraulic system and nonlinear model of synchronous generator. Simulation studies are performed with the aid of the SIMULINK. The simulation results indicate that the FGPSS can improve the dynamic quality of hydro generator unit and has strong robustness.

Key words: hydro generator; fuzzy control; PSS; SIMULINK