

## 灰色预测励磁控制同步发电机动态过程仿真

崔召辉<sup>1</sup>, 刘宪林<sup>1</sup>, 王明东<sup>1, 2</sup>, 于继来<sup>2</sup>

(1. 郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 哈尔滨工业大学电气工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:** 为了更准确地研究灰色预测励磁控制对发电机行为的影响, 基于非线性派克模型构建了考虑PSS作用的同步发电机灰色预测励磁控制系统模型, 并以单机无穷大系统为对象对其控制效果进行了仿真。与采用线性化模型相比, 采用非线性派克模型可保证灰色预测控制输入数据的非负性, 简化预测算法。考虑调速系统和PSS的作用后, 能更加准确和全面的了解灰色预测励磁控制系统的控制效果。仿真结果表明, 在大小扰动下, 无论是否具有PSS, 同步发电机励磁系统中引入灰色预测控制后均可明显地改善系统的稳定性。

**关键词:** 电力系统; 励磁控制; 灰色预测; MATLAB; 仿真

## Simulation of synchronous generator using grey prediction excitation control

CUI Zhao-hui<sup>1</sup>, LIU Xian-lin<sup>1</sup>, WANG Ming-dong<sup>1, 2</sup>, YU Ji-lai<sup>2</sup>

(1. School of Electric Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Department of Electrical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of grey prediction excitation control system on synchronous machine more accurately, grey prediction excitation control system with PSS has been modeled based on nonlinear Park model for synchronous generator. The control effect has been simulated on a Single-Machine-Infinite-Bus (SMIB) system. Compared with the commonly used linearized model, the nonlinear Park model guarantees the nonnegative input data in grey prediction control, simplifies the prediction algorithm. With speed governing system and PSS considered, more precise and general comprehension of the control effect of grey prediction excitation control system can be obtained. Simulation results show that when added to the traditional excitation system for synchronous generator, even with PSS installed, the proposed grey prediction control can obviously improve the stability of power system under small or severe disturbances.

**Key words:** power system; excitation control; grey prediction; MATLAB; simulation

中图分类号: TM73

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)06-0034-04

## 0 引言

灰色预测控制<sup>[1]</sup>是以系统行为数据为采样信息, 按新陈代谢原理建立灰色预测模型GM(1, 1), 预测系统未来的行为数据, 然后将行为预测值与行为的给定值进行比较, 实现系统的超前控制。其具有少数据、变参数建模的特点, 控制实时性好、适应性强, 且结构简单易于工程实现, 是一种具有广阔前景的新型控制。

灰色预测控制也引起电力系统研究人员的关注, 文献[2]将遗传算法和灰色预测相组合进行PSS设计; 文献[3]研究了有源滤波器的灰色预测控制; 文献[4, 5]将灰色预测控制用于同步发电机励磁控制, 前者应用灰色动态模型GM(1, 1)设计了灰色预测励磁控制, 后者则在多变量灰色预测的基础上进行同步发电机最优励磁控制系统设计。目前, 关于

灰色预测励磁控制的研究基本上都采用单机无穷大系统的线性化模型<sup>[4, 5]</sup>, 且未计及调速系统作用, 其存在以下问题:

(1) 灰色预测原始数据序列要求非负, 为此需对线性化模型中得到的原始数据进行变换, 主要的方法可分为两类: 第1类方法将原始数列各项同时加上一个正数, 从而使其成为非负数列<sup>[6]</sup>; 第二类方法通过某种数据变换, 将原始数列映射为非负数列<sup>[7]</sup>。这些变换方法将影响灰色预测的精度<sup>[8]</sup>, 增大预测计算量。

(2) 同步发电机为非线性元件, 基于未考虑调速系统作用的线性化模型预测其行为必然带来偏差, 以不准确的预测值进行控制, 特别是进行大扰动下的控制难以取得满意的结果。

本文中同步发电机采用计及阻尼绕组的非线性派克模型, 并考虑调速系统及PSS的作用。一方



设在  $t=0.1$  s时, 一回线在无穷大母线处发生A相接地短路、 $t=0.2$  s时故障切除, 系统以单回线运行,  $t=1.2$  s时重合闸成功, 系统恢复正常。仿真结果如图5所示, 其中图5(a)为发电机采用常规励磁和常规励磁加入灰色预测控制的仿真结果, 图5(b)为发电机采用带有PSS的常规励磁和带有PSS的常规励磁加入灰色预测控制的仿真结果。

由仿真结果可见, 在大扰动的情況下, 采用灰色预测控制同样能明显抑制机端电压和无功功率的振荡, 同时改善发电机功角和有功功率的响应。

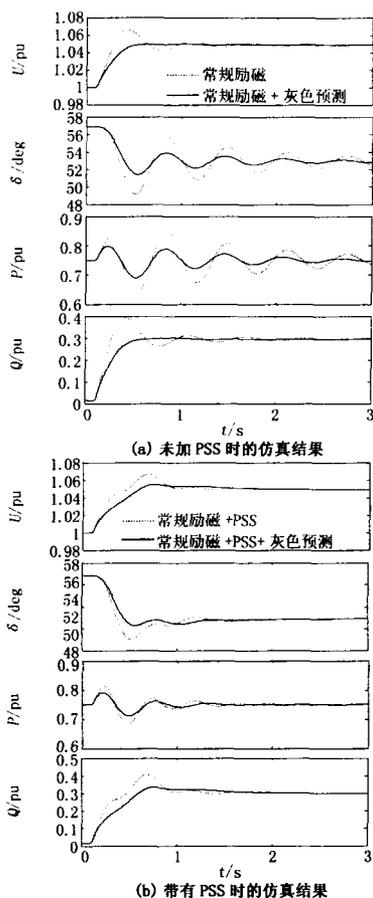


图4 单机无穷大系统小扰动仿真结果

Fig.4 Simulation results of small disturbance in a SMIB system

### 3 结论

基于非线性派克模型构建了同步发电机灰色预测励磁控制系统模型, 对相应的单机无穷大系统进行了仿真研究, 得到以下结论:

(1) 基于发电机非线性派克模型所建立的灰色预测励磁控制系统, 具有建模数据少、结构简单、

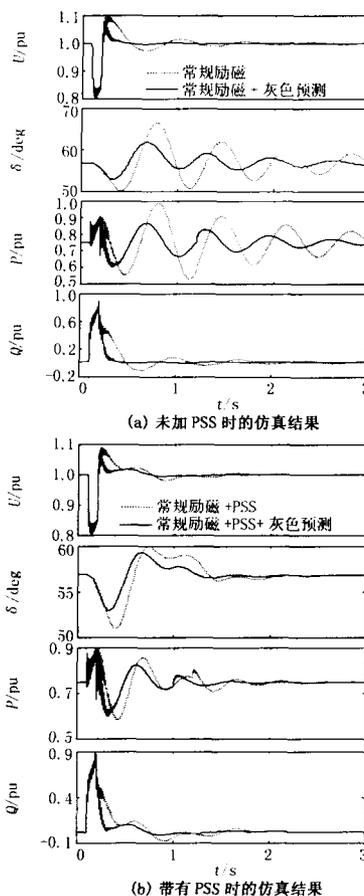


图5 单机无穷大系统单相短路仿真结果

Fig.5 Simulation results of single phase fault in a SMIB system

便于工程实现的优点。

(2) 同步发电机采用计及阻尼绕组的非线性派克模型, 并考虑调速系统和PSS的作用。一方面在非线性派克模型下原始数据序列非负, 简化了灰色预测算法; 另一方面, 完整的发电机、调速系统和励磁系统的非线性模型可以保证仿真结果的可信度。

(3) 在大小扰动情况下, 无论是否具有PSS, 同步发电机励磁控制中引入灰色预测后, 都可明显改善机端电压和功角的稳定性。

#### 附录: 单机无穷大系统算例参数

发电机:

$$S_N = 200 \text{ MVA}, U_N = 13.8 \text{ kV}, f_N = 50 \text{ Hz},$$

$$X_d = 1.305, X'_d = 0.296, X''_d = 0.252, X_q = 0.474,$$

$$X'_q = 0.243, X_1 = 0.18, T'_d = 1.01 \text{ s}, T''_d = 0.053 \text{ s},$$

$$T'_{q0} = 0.1 \text{ s}, R_s = 0.0028544, H = 3.2 \text{ s}, D = 0,$$

$p = 32$ 。

水轮机及调速系统:  $\beta = 0$ ,  $T_w = 2.67$  s,  $K_a = 10/3$ ,  $T_a = 0.07$  s,  $g_{\min} = 0.01$ ,  $g_{\max} = 0.975$  18,  $V_{g_{\min}} = -0.1$ ,  $V_{g_{\max}} = 0.1$ ,  $R_p = 0.05$ ,  $K_p = 1.163$ ,  $K_i = 0.105$ ,  $K_d = 0$ ,  $T_d = 0.01$ 。

励磁系统:  $T_r = 0.02$  s,  $K_A = 300$ ,  $T_A = 0.001$  s,  $K_E = 1$ ,  $T_E = 0$  s,  $T_b = T_c = 0$  s,  $K_F = 0.001$ ,  $T_F = 0.1$  s,  $E_{FD_{\min}} = -11.5$ ,  $E_{FD_{\max}} = 11.5$ ,  $K_p = 0$ 。

电力系统稳定器 (PSS): 所用PSS的传递函数为  $G_{PSS} = \frac{2.5}{0.015s+1} \times \frac{s}{s+1} \times \frac{0.06s+1}{s+1}$ , 输出限幅为  $\pm 0.15$ 。

变压器:  $S_N = 200$  MVA,  $f_N = 50$  Hz, D1-Yg 接线, 额定电压 13.8/230 kV,  $R_1 = R_2 = 0.002$  7,  $L_1 = L_2 = 0.08$ ,  $R_m = L_m = 500$ 。

线路长度 50 km, 单回线单位长度的正序和零序参数分别为:  $R_1 = 0.012$  7  $\Omega$ ,  $R_0 = 0.386$   $\Omega$ ,  $L_1 = 0.934$  mH,  $L_0 = 0.413$  mH,  $C_1 = 0.012$  7  $\mu$ F,  $C_0 = 0.007$  75  $\mu$ F。

无穷大系统: 电压 230 kV, 频率 50 Hz, 系统容量  $1 \times 10^7$  MVA, 短路回路总阻抗与内阻比值  $X/R = 10$ 。

以上各量中未注明单位的, 均为标么值。

## 参考文献

- [1] 邓聚龙. 灰色控制系统[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1985.8  
DENG Ju-long. Grey Prediction Control System[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1985.
- [2] LI Chien-ying, HUANG Tsong-liang. Optimal Design of the Grey Prediction PID Controller for Power System Stabilizers by Evolutionary Programming[J]. Proceedings of IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, 2004: 1370-1375.
- [3] 李江, 孙海顺, 程时杰, 等. 基于灰色系统理论的有源滤波器的预测控制[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(2): 7-10.  
LI Jiang, SUN Hai-shun, CHENG Shi-jie, et al. Prediction Control of Active Power Filter Based on the Grey Theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(2): 7-10.
- [4] 胡兆庆, 毛承雄, 陆继明. 基于灰色预测的发电机励磁控制系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2002, 14(1): 30-33.  
HU Zhao-qing, MAO Cheng-xiong, LU Ji-ming. Excitation Controller Based on Grey Prediction[J]. Proceedings of the EPSA, 2002, 14(1): 30-33.
- [5] 肖智宏, 周晖, 朱启晨. 基于灰色预测控制算法的发电机最优励磁控制[J]. 电网技术, 2006, 30(5): 81-85.  
XIAO Zhi-hong, ZHOU Hui, ZHU Qi-chen. Optimal Generator Excitation Controller Based on Grey Prediction Control Algorithm[J]. Power System Technology, 2006, 30(5): 81-85.
- [6] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.  
LIU Si-feng, GUO Tian-bang, DANG Yao-guo, et al. Grey System Theory and Application. [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [7] Wong C C, Chen C C. Design of Fuzzy Control Systems with a Switching Grey Prediction[A]. In: IEEE Fuzzy Systems Proc[C]. Alaska: 1998. 567-571.
- [8] 熊和金, 徐中华. 灰色控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.9  
XIONG He-jin, XU Zhong-hua. Grey Control[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005.
- [9] 王勇, 刘晓谦, 戴义平, 等. 灰色预测反馈控制在汽轮机调节系统中的仿真研究[J]. 汽轮机技术, 2004, 46(2): 104-106.  
WANG Yong, LIU Xiao-qian, DAI Yi-ping, et al. Simulations of Grey Prediction Feedback Control in Control System of Steam Turbine[J]. Turbine Technology, 2004, 46(2): 104-106.
- [10] 刘红军, 韩璞, 王东风, 等. 灰色预测模糊 PID 控制在汽温控制系统中的应用[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(8): 1839-1841, 1848.  
LIU Hong-jun, HAN Pu, WANG Dong-feng, et al. Fuzzy PID Control with Grey Prediction and Its Application in Temperature Control System[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(8): 1839-1841, 1848.

收稿日期: 2006-10-13; 修回日期: 2006-11-22

作者简介:

崔召辉 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力电子在电力系统中的应用; E-mail: eegscuizh@163.com

刘宪林 (1955-), 男, 博士, 教授, 主要从事电力系统分析与控制方面的教学和研究工作;

王明东 (1971-), 男, 博士研究生, 讲师, 研究方向为电力系统分析与控制。