

励磁控制系统灰色预测 PID 控制仿真研究

刘宪林¹, 杨建¹, 王明东^{1,2}

(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: 基于 MATLAB 对同步发电机灰色预测 PID 励磁控制进行仿真研究. 仿真中同步发电机采用派克模型, 保证了灰色预测原始数据的非负性, 简化了灰色预测算法, 并对稳态工况下灰色预测的处理以及原始数据采样周期等问题进行了探讨, 解决了灰色预测 PID 控制在稳态情况下预测失控的问题. 仿真结果表明: 在不同工作点下, 同步发电机灰色预测 PID 励磁控制与常规 PID 控制相比较, 灰色预测 PID 励磁控制的超调量和调节时间都明显减小, 控制效果优于常规 PID 控制.

关键词: 电力系统; 励磁控制; 灰色预测; PID 控制

中图分类号: TU 375.1

文献标识码: A

0 引言

随着电力系统全国电网联网目标的提出, 系统稳定性问题的解决迫在眉睫, 而发电机的稳定运行是整个电网至关重要的环节, 改善发电机励磁控制对整个系统稳定性的提高有很大帮助. 灰色控制理论由我国学者于 20 世纪 80 年代所提出的^[1], 这一理论已经在电力系统稳定控制研究中得到初步应用, 例如文献[2]将去余控制用于 PSS 的设计, 文献[3]则将灰色预测控制用于同步发电机励磁控制. 灰色预测控制是着眼于系统未来行为的预控制, 它是超前控制, 并且具有较强的自适应性、通用性、实时性和准确性, 同时灰色预测控制结构简单, 技术明了, 是一种具有广阔前景的新型控制.

在灰色预测控制应用于同步发电机励磁控制的研究中, 控制对象多采用线性化模型, 为满足灰色预测原始数据序列非负的要求, 需进行原始数据变换, 这增加了灰色预测程序的复杂性^[3]. 作者基于同步发电机派克模型对常规 PID 励磁控制和灰色预测 PID 励磁控制进行比较研究, 在派克模型下原始数据序列非负, 这使得灰色预测励磁控制的算法更为简洁. 笔者还对稳态工况下灰色预测的处理和原始数据的采样周期进行了初步探讨.

1 灰色预测

灰色预测控制系统的结构如图 1 所示. 图中,

u_i 为系统控制变量, x 为输出变量, \hat{x} 为 x 的预测值; GM(1,1) 为灰色模型 (Grey Model—GM).

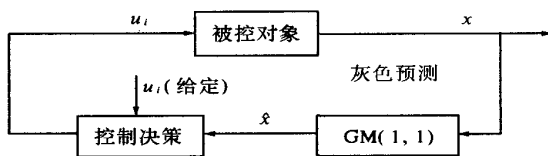


图 1 灰色预测控制系统

Fig.1 Grey prediction control system

灰色模型的建模及灰色预测原理如下^[1]:

对原始数据列

$$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)).$$

为弱化其数值随机性, 构造累加数据列

$$x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)).$$

$$\text{式中, } x^{(1)}(i) = \sum_{k=1}^i x^{(0)}(k) \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

灰色微分方程 GM(1,1) 为

$$x^{(0)}(i) + az^{(1)}(i) = b \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

$$\text{式中, } z^{(1)}(i) = 0.5(x^{(1)}(i) + x^{(1)}(i-1)).$$

对 GM(1,1) 的白化方程

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b.$$

按最小二乘准则辨识参数 a, b , 可得

$$[a \quad b]^T = (B^T B)^{-1} B^T y_N.$$

$$\text{其中, } B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}, \quad y_N = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}.$$

从而白化方程的解为

$$\hat{x}^{(1)}(i+1) = e^{-ai}x^{(0)}(1) + (1 - e^{-ai})b/a.$$

故 $x^{(0)}$ 的预测值为

$$\hat{x}^{(0)}(i+1) = \hat{x}^{(1)}(i+1) - \hat{x}^{(1)}(i).$$

灰色预测控制以该预测值作为控制决策环节的输入量,采取相应的控制决策,其本质是一种事前控制.兼顾预测精度和求解白化方程的计算量,一般取 $n=4$ [4].

2 灰色预测 PID 励磁控制仿真

灰色预测 PID 励磁控制仿真模型如图 2 所示.图中单机无穷大系统模型,细体字母表示标

量,而粗体字母表示向量,如 $u_{df} = [u_d \ u_f]^T$ 等.控制对象为采用快速励磁的汽轮同步发电机组-双回输电线路无穷大母线系统,模型参数如下:同步发电机 $r=0.002$, $X_\sigma=0.14$, $X_d=2.00$, $X_q=2.00$, $X_{ad}=1.86$, $X_{aq}=1.86$, $X_{D\sigma}=0.04$, $X_{Q\sigma}=0.04$, $X_{f\sigma}=0.04$, $r_f=0.001$, $r_D=0.0125$, $r_Q=0.0125$, $T_j=10.76$ s. 输电线路(单回): $r_e=0.0256$, $X_e=0.0705$. 励磁系统: $K_p=0.2$, $K_i=0.001$, $K_d=0.001$, $T_z=0.05$ s. 汽轮机和调速系统: $T_g=2$ s, $K_g=10$; $T_{CH}=5$ s. 除各时间常数外,其余参数均为标么值.

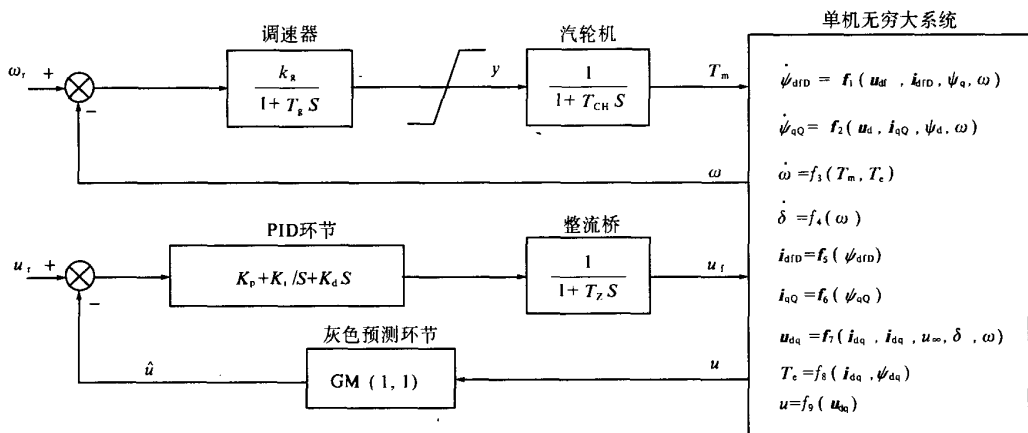


图2 单机无穷大系统灰色预测 PID 励磁控制模型

Fig.2 Grey prediction PID excitation control model of single machine infinite bus system

灰色预测 PID 励磁控制以发电机端电压 u 的采样值作为灰色预测模块的输入,经过 GM(1,1)模型求出 u 的预测值 \hat{u} ,PID 控制器则根据机端电压的偏差预测值 $u - \hat{u}$ 进行励磁调节.仿真基于 MATLAB 进行.在仿真模型和灰色预测算法实现方面,注意了下列几个问题:

(1) 同步发电机采用派克模型.灰色建模要求原始数据序列必须非负.设计灰色预测励磁控制器,若采用发电机线性化模型,那么系统响应可能随时间或正或负,这就要多一个步骤将非恒正数列变换为恒定数列,且在大扰动情况下采用线性化模型也不尽合理.对此很多学者提出了改进办法,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 [5];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 [6].这些变换方法对预测精度都有影响.为从根本上解决这一问题,本文同步发电机采用含阻尼绕组的派克模型,这一作法既保持了数据精度,也省去了灰色预测的原始数据

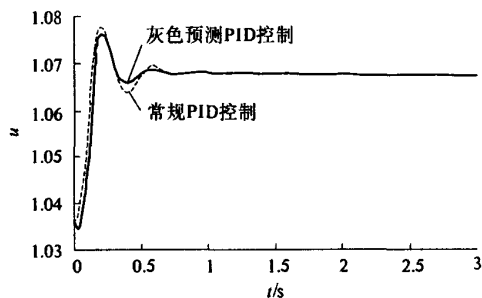
变换程序.

(2) 稳态工况退出灰色预测.当系统进入稳态,发电机机端电压不再波动,GM(1,1)的输入序列各值将全部相等,白化方程的参数 a 等于 0,这将导致预测值失准,反而使本应处于稳态的系统趋于发散.为此,当检测到系统进入稳态时或退出灰色预测环节,或令灰色预测模块的输出保持不变,有效地保证了稳态工况的平稳.

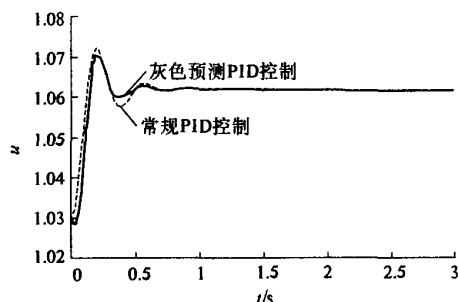
(3) 选择合理的采样周期.采样周期的选取直接影响灰色预测的精度.计算实践表明,无论采样周期过大或者过小,灰色预测都会恶化系统的动态性能,甚至破坏系统的稳定性.目前还没有确定灰色预测原始信号采样周期的系统方法 [5].经比较,本算例采样周期采用 0.01 s 效果较好.

为比较灰色预测 PID 励磁控制和常规 PID 励磁控制的效果,对图 2 模型在两种不同运行点上,使发电机电压给定产生 5% 阶跃,仿真结果如图 3 所示.由图可见,在两个工作点上,灰色预测 PID 控制下的超调量和调节时间都明显优于常规 PID

控制.



(1) $P=0.8, Q=0.2$



(2) $P=0.6, Q=0.2$

图3 机端电压阶跃响应仿真曲线

Fig.3 Terminal voltage step response curve

4 结论

基于 MATLAB 对同步发电机灰色预测 PID 励

磁控制进行仿真研究,仿真中同步发电机采用派克模型,与采用线性化模型相比,保证了灰色预测原始数据的非负性,简化了灰色预测步骤,并对稳态工况下灰色预测的处理以及原始数据采样周期等问题进行了探讨.仿真结果表明,同步发电机灰色预测 PID 励磁控制的效果优于常规 PID 控制.

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.
- [2] 李天云,全玉生,张宇辉,等.发电机的灰色去余控制[J].电力系统自动化,1994,18(7):27~32.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] WONG C C, CHEN C C. Design of fuzzy control systems with a switching grey prediction[A]. Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Systems (part 1) Proc[C]. Alaska: IEEE Press, 1998. 567~571.
- [7] 王明东,刘宪林.基于模糊控制理论的水轮发电机组调速器 PSS 研究[J].郑州大学学报(工学版),2003,24(2):96~98.

Study on Simulation of Grey Prediction PID Control on Excitation Control System

LIU Xian-lin¹, YANG Jian¹, WANG Ming-dong^{1,2}

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

Abstract: A simulation study of excitation control on synchronous generator has been conducted based on MATLAB. The study employs PARK model as the synchronous generator's model, which guarantees the nonnegative original data in grey prediction module and simplified the procedure of grey prediction. The problem of dealing with grey prediction module under steady state and selection of sample period of original data is discussed, avoiding the problem that grey prediction PID loses control under steady state. The simulation results show that grey prediction PID excitation control is better than general PID excitation control, because its extraordinary quantity and regulating time under different work conditions are both smaller and shorter.

Key words: power system; excitation control; grey prediction; PID control