

基于遗传算法的水轮发电机组调速系统参数辨识

杨小东,董宸,卢文华,文劲宇

(华中科技大学电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要: 将遗传算法思想引入水轮发电机组调速系统的辨识工作中,解决了目前电力系统中常用的辨识方法无法对非线性环节进行有效辨识的问题;为提高辨识效率,对遗传算法初始群体的选取方法以及子代选择方法进行了改进。对实际发电机组调速系统的辨识结果说明该方法具有快速、精度较高等优点。该思想为水轮发电机组调速系统的辨识提供了一种新方法,具有重要的工程实用价值。

关键词: 调速系统; 参数辨识; 遗传算法

中图分类号: TM71 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)01-0027-04

0 引言

随着电力系统的发展以及电网规模的不断扩大,电网安全及其稳定运行问题日益凸显出它的重要性。电力系统稳定安全计算的关键之一是建立准确的系统数学模型以及获取符合实际的系统动态参数。其中,水轮发电机组调速系统的数学模型在系统稳定分析中的作用十分重要:系统的频率控制性能直接受系统内调速系统的特性的支配;一些与频率因素相关的稳定控制装置,如低频减载、故障切除装置的整定更是离不开调速系统模型。而目前,国内外将辨识技术用于原动机和调速系统的动态建模进展缓慢,一些电力系统仿真软件如(BPA、PSS/E等)提供的水轮机调速系统标准模型无法模拟变化了的实际调速系统。在此情况下,需要建立符合实际的水轮发电机组调速系统数学模型,通过辨识获得所需的各个参数,进而将模型转化为仿真软件中的标准模型,便于运行调度人员进行系统稳定仿真计算。

参数辨识领域中研究与应用较多的是频域辨识法与时域辨识法^[1],这两种方法可以较精确地辨识线性系统或非线性因素影响较小近似线性系统地参数。由于水轮发电机组自身的特点,存在水轮机水锤效应,水门开度限幅等一系列非线性因素,且影响较大,不能近似为线性系统,故使用上述两种方法无法得到满意结果。另外,时域法和频域法所辨识得到的都是整个系统的传递函数的系数,要进一步获

得模型中各个子环节的参数值还必须通过数学分解,这一过程不可避免地存在误差。若采取分别辨识各个子环节的方法,会成倍增加工作量;此外,水轮发电机组的调速系统中存在液压元件,一些中间环节的输出量无法测量,影响辨识工作进行。

遗传算法是一种宏观意义下的仿生算法,模仿生命与智能的产生与进化过程,按照达尔文“优胜劣汰、适者生存”的原理,鼓励产生好的结构,并且在迭代过程中保持已有的结构,同时寻找更好的结构。它具有较强的鲁棒性,特别是对一些大型的、复杂的非线性系统,更表现出比其它传统优化方法更加独特和优越的性能。它对于目标函数没有连续可微的要求,能避免陷入局部极小,适用于处理传统搜索方法无法解决的复杂和非线性问题。对于已经建立的系统数学模型,遗传算法直接以设定的待辨识参数作为搜索对象,所得的最优解即为所求,无需分解转换^[2]。本文将改进的遗传算法应用于实际的水轮发电机组的调速系统(包括水轮机本体和引水系统)模型参数辨识,给出了参数辨识的基本原理和辨识的基本过程。结果表明,该方法是有效的,且算法具有计算速度快,精度高,程序通用性强等优点。为水轮发电机组调速系统的参数辨识提供了一种新的途径,具有重要的工程实用价值。

1 遗传算法用于调速系统参数辨识的原理

进行调速系统辨识时,应提前根据实际的调速系统结构来确定模型结构,因此,实际需要进行的工作是模型参数的辨识,其原理如图1所示。辨识过程如下:规定一代价函数(或称等价准则) J ,它通常是误差 e 的函数(也称误差函数),实际系统和模型

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50595410);中华电力教育基金会许继科技基金资助项目

系统在同一激励信号 x 的作用下,产生实际输出信号 y_r 和模型输出信号 y_m , 其误差为 e , 经辨识准则计算后,去修正模型参数,反复进行,直至误差 e 满足代价函数最小为止。

上述过程的数学描述可写为:令

$$J = f(e) \quad (1)$$

寻找一组模型参数 θ_0 , 使

$$J_0 = \min \quad (2)$$

则 θ_0 就是模型系统的参数。

从上可以看出,模型参数辨识过程本质上就是参数寻优的过程,这使得 GA 可以非常方便地用于调速系统模型参数的辨识。

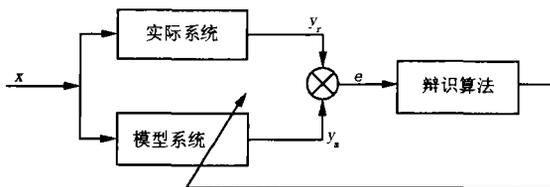


图 1 参数辨识原理图

Fig 1 Block diagram of parameter identification

2 用于调速系统参数辨识的遗传算法

介绍 GA 的文献很多,使用遗传算法对一个具体问题优化的详细过程可以参见文献 [3], 本文着重研究与调速系统参数辨识相关的问题。

2.1 算法的改进

遗传算法应用于参数辨识过程中,必须完成遗传算法的各种计算过程,包括确定群体和解的集合,确定选择运算、交叉运算、变异运算、解码运算和个体评价的途径。

确定编码方法:采用实数编码方法,直接将待优化的模型参数相互连接起来,形成 GA 算法中的个体。

初始群体的产生:遗传算法的研究表明,初始群体的分布性质严重影响整个算法的收敛性能。初始群体性质差,会使算法的收敛速度变慢。传统的初始群体是随机产生的,因而会造成产生的初始群体好坏不定。还有根据广义海明距离为判据的均匀初始群体产生方法,这样产生的初始群体较好,但缺点是计算量大。本文采用小区间生成法^[3]:设群体总数为 N , 则先把各待辨识参数的取值范围分成 N 个子区,从这些子区间中分别随机生成一个个体。这样,既在一定程度上保证了初始群体在可行解域分布的广度,同时计算量也不会太大。

选择:传统的选择方法是轮盘赌的方法,本文采

用改进的无回放随机余数选择法^[4],可以确保适应度比平均适应度大的个体一定能被遗传到下一代,选择误差更小。

交叉和变异:基于必要的精度和减小误差方面的考虑,采用外推式的算术交叉法和非均匀变异。交叉概率,通常取值范围为 $0.4 \sim 0.99$; 变异概率,通常的取值范围为 $0.001 \sim 0.5$ ^[4,5], 本文分别取为 0.6 和 0.01 。

群体大小:群体中所含个体的数量可根据情况设定,越大则结果会更加精确,不过所需计算时间也会相应增大,一般取 $50 \sim 150$ 之间。

确定个体评价方法:一般是用适应度来衡量个体的优劣。而适应度与误差函数相关联,误差函数值越小,该个体的适应度就越大。本文定义的误差函数为:

$$J1(\theta) = \sum_{j=1}^n [G_j - \hat{G}_j]^2 \quad (3)$$

$$J2(\theta) = \sum_{j=1}^n [P_j - \hat{P}_j]^2 \quad (4)$$

为模型的参数矢量, \hat{G}_j, \hat{P}_j 分别为对应参数矢量的仿真水门开度和仿真水轮机输出机械功率的第 j 个采样点; G_j, P_j 分别为实际水门开度和实际的水轮机输出机械功率的第 j 个采样点(即观测值采样点)。定义适应度为:

$$fitness(x) = \frac{10^6}{J1(x) + 500J2(x)} \quad (5)$$

采用这种型式的适应度函数,可以凭借适应度的大小评判辨识结果的优劣,计算得出的适应度值为正数,便于处理。并且适应度最大值是确定的,可以作为判断进化过程结束的指标之一。

2.2 辨识步骤

1) 分析所要辨识的水轮发电机组调速系统,在 Matlab 的 Simulink 中建立符合实际情况的数学模型作为仿真系统。模型中包含所要辨识的全部参数,并根据厂家提供参数或经验值为每个待辨识参数设定合适的辨识范围。

2) 通过现场试验获取各种扰动输入情况下的调速系统的调速系统动态特性,记录输入和输出量的数据。

3) 用遗传算法的群体初始化程序产生一组参数矢量。以实际系统的扰动量作为仿真系统的输入信号,在产生的参数矢量的条件下对仿真系统做仿真,记录仿真系统输出(与实际系统输出相对应)。

4) 仿真系统输出与实际系统输出进行比较:当

仿真输出与它所对应的实际系统输出的误差为 0 或足够小时,则可认为这组参数矢量即为所求的辨识参数,辨识完成。否则,利用构成的误差函数,采用遗传算法来修正产生的参数矢量后,重新仿真系统进行仿真与比较。这一过程不断进行,直到得到满意的误差。

3 应用实例

以下给出对福建棉花滩水电厂额定容量为 150 MW 的 4 号水轮发电机组调速系统(包括水轮机本体)进行参数辨识的过程。该水轮发电机组调速系统采用上海希科公司的微机式电气液压调速装置。装置由转速调节器、功率调节器、选择器和随动系统组成,可以工作在转速调节与功率调节两种工作模式下。现场对机组进行了空载转速扰动试验和并网负载扰动试验。本文选取并网负载扰动试验数据进行参数辨识工作,此时调速装置工作在功率调节模式下。功率调节器的型式采用的是 PD 调节器。

进行水轮发电机组机并网负载扰动试验时,调速系统运行于功率调节模式下,机组初始转速为额定转速,发电机机端电压为额定电压,初始运行负荷为 100 MW。通过改变功率给定值 P_{REF} 的方式施加扰动,扰动值为 15 MW。试验中除记录水轮机输出功率信号 P_M (以发电机电磁功率近似替代)外,还记录了一组中间信号,即水门开度信号 G 。采样间隔为 0.001 s,录波时间为 110 s 根据实际系统建立的该调速系统模拟框图如图 2 所示。

为了适应电力系统时域数字仿真计算,包括系统暂态稳定计算和长过程动态稳定计算,模型中采用水轮机及引水系统非线性数学模型^[6]。

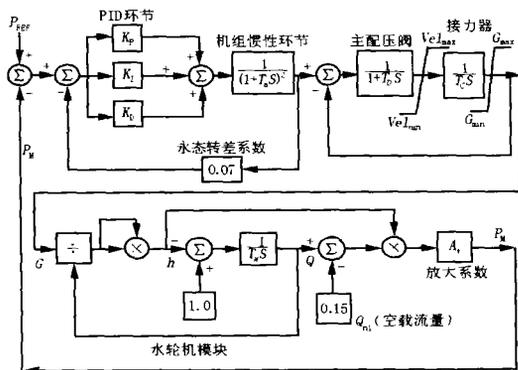


图 2 发电机组调速系统传递函数框图

Fig 2 Transfer function block diagram of the generator turbine governing system

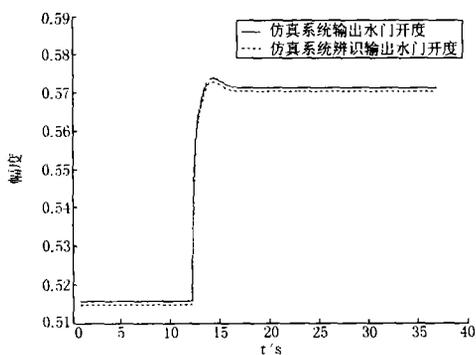
模型中有 2 个限幅环节,待辨识的参数有 8 个,包括非线性的水轮机及引水系统中的水锤系数 T_w 和水轮机增益 A_1 。厂家提供的参数见表 1 中的“厂家提供参数”。

GA 的群体规模为 60,最大迭代次数为 50。辨识软件用 Matlab6.5 编写,在主频为 2.2 GHz 的 PC 机上运行,辨识一次所用时间平均约为 25 min。为全面检验 GA 辨识法的有效性,对该系统进行了两类方式的辨识。

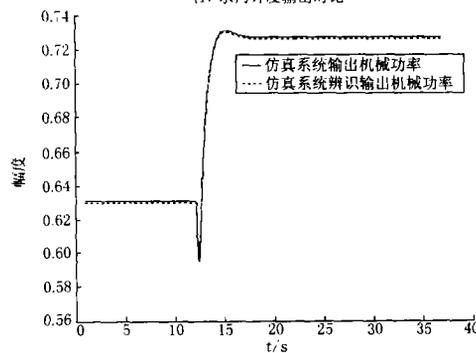
表 1 水轮发电机组调速系统参数辨识结果

Tab 1 Parameter-identification results of the hydraulic turbine governing system

参数名	厂家提供参数	模拟系统辨识结果	实际系统辨识结果
比例增益 K_P	5.000	5.017	4.532
积分增益 K_I	1.667	1.655	1.808
微分增益 K_D	1.000	0.998	1.012
控制时间常数 T_a	0.020 00	0.022 00	0.033
配压阀惯性时间常数 T_D	0.020 00	0.019 97	0.048
油动机时间常数 T_C	0.500 0	0.500 0	0.551
水锤系数 T_w	1.385	1.389	1.296
水轮机增益 A_1	1.700	1.692	1.725



(1) 水门开度输出对比



(2) 机械功率输出对比

图 3 模拟系统与 GA 辨识系统的响应输出

Fig 3 Responses of simulated system and model system identified by GA

3.1 模拟系统辨识

用厂家提供的参数在 Matlab 中建立模拟系统,对模拟系统实施阶跃扰动,分别记录 P_{REF} 以及水门开度 G 和水轮机输出功率 P_M ,将记录数据作为采样信号,用本文所述 GA 辨识法对模拟系统进行参数辨识,辨识结果见表 1 中“模拟系统辨识结果”。将辨识所得参数代入模拟系统,实施相同扰动,记录 P_{REF} 、 G 和 P_M ,与采样数据比较,结果如图 3 所示。由表 1 和图 3 可见,辨识结果非常精确,两者的响应输出曲线几乎重合。

3.2 实际系统辨识

以现场测得的实际数据对实际水轮发电机组调速系统的参数辨识结果见表 1 中“实际系统辨识结果”,用辨识所得参数进行仿真,与实际系统输出比较,结果如图 4 所示。由对比图知辨识输出与实际输出吻合较好,说明 GA 辨识法是有效的,但所得辨识数据与厂家提供参数有一定差距,存在的误差主要来源于现场测量误差,以及模型结构只能近似地模拟实际系统。

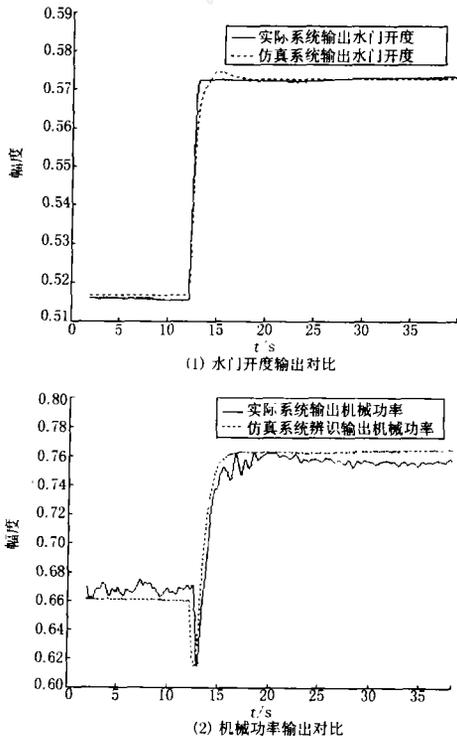


图 4 实际系统与 GA 辨识系统的响应输出

Fig 4 Responses of real system and model system identified by GA

4 结语

GA 辨识法是直接基于模型进行辨识,与常规

的时域辨识法和频域辨识法相比,它的突出优点在于可以有效辨识非线性环节的辨识。同时还具有计算速度快,辨识结果准确可靠等优点。辨识具有极强的鲁棒性,由于采用了 Matlab 的 Simulink 模块建模,算法的通用性大为提高,可以十分方便地应用于其它系统的参数辨识。

参考文献:

- [1] 沈善德. 电力系统辨识 [M]. 北京:清华大学出版社, 1993.
SHEN Shan-de Identification of Power System [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1993.
- [2] 戴义平,邓仁纲,刘炯,等. 基于遗传算法的汽轮机数字电液调节系统的参数辨识研究 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 22 (7): 101-104.
DAI Yi-ping, DENG Ren-gang, LU Jiong, et al Study on Parameter Identification for Steam Turbine DHE Governing System Based on Genetic Algorithm [M]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22 (7): 101-104.
- [3] 李敏强,寇纪淞,林丹,等. 遗传算法的基本理论与应用 [J]. 北京:科学出版社, 2002.
LI Min-qiang, KOU Ji-song, LIN Dan, et al Genetic Algorithm Basic Theory and Application [J]. Beijing: Science Press, 2002.
- [4] 高玮. 改进的快速遗传算法及其性能研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25 (11): 1427-1430.
GAO Wei An Improved Fast Convergent Genetic Algorithm and Its Performance Study [J]. System Engineering and Electronics, 2003, 25 (11): 1427-1430.
- [5] 周明,孙树栋. 遗传算法原理及应用 [J]. 北京:国防工业出版社, 1999.
ZHOU Ming, SUN Shu-dong Genetic Algorithm Theory and Applications [J]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999.
- [6] Hydraulic Turbine and Turbine Control Models for System Dynamic Studies [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1992, 7 (1).

收稿日期: 2005-05-20; 修回日期: 2005-07-01

作者简介:

杨小东 (1981 -),男,硕士,主要研究方向为电力系统运行与控制;Email: putao_1981@sina.com

董宸 (1981 -),女,硕士,主要研究方向为人工智能在电力系统中的应用;

卢文华 (1976 -),男,博士,主要研究方向为电力电子在电力系统中的应用。

(下转第 54 页 continued on page 54)

- [8] Bjorgan R, L U Chen-ching, Lawarree J. Financial Risk Management in a Competitive Electricity Market [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14 (4): 1285-1291.
- [9] Linares P. Multiple Criteria Decision Making and Risk Analysis as Risk Management Tools for Power Systems Planning [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17 (3): 895-900.
- [10] 雷兵,王秀丽,高瑛,等. 独立发电商在日前市场的竞价策略分析 [J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (24): 8-14. LEI Bing, WANG Xiu-li, GAO Ying, et al. Analysis of IPP Bidding Strategy in Day-ahead Market [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26 (24): 8-14.
- [11] Ferrero R W, Rivera J E. Application of Games with Incomplete Information for Pricing Electricity in Deregulated Power Pools [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13 (1): 184-190.

收稿日期: 2005-05-27; 修回日期: 2005-07-20

作者简介:

彭希 (1982 -), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力自动监控; Email: pengpengxixi@yahoo.com.cn

刘涤尘 (1953 -), 男, 教授, 博士生导师, 从事电气工程与自动化和电力自动监控等方面的研究。

Study of generators trade risk management strategy based on straddle options contract

PENG Xi¹, L U Di-chen¹, CHEN Bo²

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Zhongshan Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Corporation, Zhongshan 528400, China)

Abstract: In electricity market, as facing double price risks of fuel market and electricity consumption market, generators must seek effective means to manage risks. Option and its hedging function are particularly discussed in this paper. Trade model considering linked prices of coal and electricity is set up and risk management strategy based on straddle options contract is introduced. Theoretical analysis and calculation instance indicate that trade strategy is effective and feasible.

Key words: risk management; straddle option; generators; hedging

(上接第 30 页 continued from page 30)

Parameters identification for hydraulic turbine governing systems based on genetic algorithm

YANG Xiao-dong, DONG Chen, LU Wen-hua, WEN Jin-yu

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper introduces the idea of GA in the parameter identification of hydraulic turbine governing system and solves the problem that traditional identification methods such as frequency-domain methods and time-domain methods cannot validly identify the parameters of nonlinear systems. To raise the efficiency of identification, this paper improves the methods of selections of the initial colony and filial generation. The identification results of real governing system demonstrate that such parameter identification methods with GA have the advantages of fast computation and high parameter identification precision. And the conclusion is that the idea of GA provides a new way for parameter identification of hydraulic turbine governing system which has magnitude value for engineering application.

Key words: governing system; parameter identification; genetic algorithm

(上接第 38 页 continued from page 38)

Abstract: The result of Discrete Fourier Transform (DFT) in asynchronous sampling is not accurate and can not satisfy the requirement of synchronized phasor measurements, due to spectral leakage and barrier effect. This paper analyzes several methods of synchronous sampling and error eliminated and proposes a new phasor estimation method. The proposed method obtains two adjacent zero-crossing points of sampling series by linear interpolation method for frequency tracking, amends the sampling series to get satisfied synchronous sampling, and computes the new series for phasor estimation by DFT as well. The simulation shows that the method has a notable accuracy improvement, and adds little calculation burden than traditional DFT. The favorable performance satisfies the demand of accuracy and real-time of synchronized phasor measurements.

Key words: DFT; synchronized phasor measurements; synchronous sampling; offset frequency; phasor estimation