

基于Nelder-Mead单纯形法的汽轮机调速系统参数辨识

戴晓, 江效龙, 吴成, 孙小林

(华北电力大学 控制与计算机工程学院, 河北 保定 071003)

摘要: 为了建立汽轮机调速系统准确模型, 需要对模型进行参数测试及辨识。根据建模导则推荐的汽轮机调速系统模型结构以及现场试验数据, 采用具有算法简单、容易实现、对目标函数连续或可导无要求等特点的Nelder-Mead单纯形法对汽轮机调速系统参数进行辨识, 并对辨识结果进行了仿真校核。结果表明: 所使用的Nelder-Mead单纯形法辨识出的汽轮机调速系统参数模型满足精度要求, 验证了此方法的实用有效性。

关键词: 汽轮机调速系统; 参数辨识; Nelder-Mead单纯形法; 仿真校核

中图分类号: TH

文献标识码: A

文章编号: 1671-1041(2015)01-0032-03

Parameter Identification of Turbine Governing System Based on Simplex Method

Dai Xiao, Jiang Xiaolong, Wu Cheng, Sun Xiaolin

(School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Hebei Baoding 071003, China)

Abstract: In order to establish the accurate model of steam turbine governing system, parameters test and identification of the model should be done separately. The Nelder-Mead Simplex(NMS), which has the advantages of simple, easily implement and the objective function needn't continuous or derivable, is applied to identify the parameters of turbine governing system based on the model framework of turbine governing system and the field test data. Simulation and verification on the parameters identified have researched. It shows that the turbine governing system parameter is identified by the NMS adopted in this paper can meet the requirement of accuracy. Therefore, the effectiveness of this method is verified.

Key words: steam turbine governing system; parameter identification; nelder-mead Simplex(NMS); simulation and verification

0 引言

我国电力系统发展迅猛, 稳定问题日益突出, 为了更好地开展大区域互联电网稳定性分析, 研究原动机调速系统对电力系统稳定性的影响十分必要^[1]。为了能建立与实际特性一致的模型, 需要通过模型参数测试及辨识得到, 因此, 对汽轮机调速系统参数进行辨识非常重要。

正是由于它的重要性, 近年来, 对汽轮机调速系统参数辨识的研究也比较多。李蔚等^[2]应用递推最小二乘法对汽轮机DEH调节系统参数进行了辨识; 戴义平等^[3]将BP神经网络应用于汽轮机调节系统的参数估计; Gao等^[4]使用改进的遗传算法对汽轮机及伺服系统参数进行辨识; 李阳海等^[5]采用粒子群优化算法对发电机组调速系统参数辨识进行了研究。

Nelder-Mead单纯形法作为一种特殊的算法, 具有算法简单、容易实现、对目标函数连续或可导无要求等特点, 它由Nelder和Mead^[6]首次提出, 并得到广泛应用, 该方法是求解无约束优化问题的局部搜索算法。对于N个变量的函数

最小化问题, 使用反射、扩张、收缩、压缩等操作, 通过比较单纯形的(N+1)个顶点的目标函数值, 然后用新的点替换目标函数值最大的顶点, 通过逐步迭代不断更新单纯形, 最终单纯形将逼近问题的最优解。

本文将基于汽轮机调速系统模型框架以及现场试验数据, 应用Nelder-Mead单纯形法对汽轮机调速系统参数进行辨识, 并将辨识得到的参数代入模型, 通过该模型的仿真结果与现场试验结果进行对比, 验证了该方法在汽轮机调速系统参数辨识中的有效性。

1 汽轮机调速系统

电厂汽轮机是用来驱动发电机高速旋转产生电能的原动机, 汽轮机调速系统一方面可根据指令要求改变调节汽门开度, 调节进入汽轮机的蒸汽流量, 从而改变机组功率; 此外, 汽轮机调速系统还是确保机组安全稳定运行的重要保障, 在事故紧急情况下, 能快速切断汽轮机进汽并使机组快速停机。图1是汽轮机调节系统的概貌, 主要包括电液调节系统、电液伺服系统以及汽轮机三个部分。电液

收稿日期: 2014-11-17

作者简介: 戴晓(1987-), 男, 湖北黄冈人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 控制理论及其在过程控制的应用。

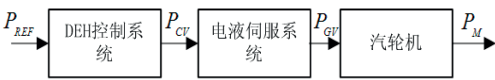


图1 汽轮机系统
Fig.1 Turbine system

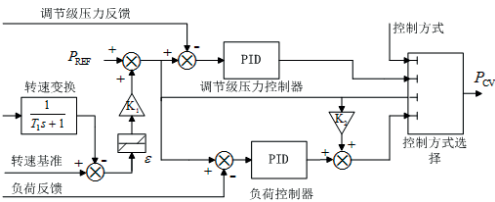


图2 DEH控制系统模型
Fig.2 Model of DEH control system

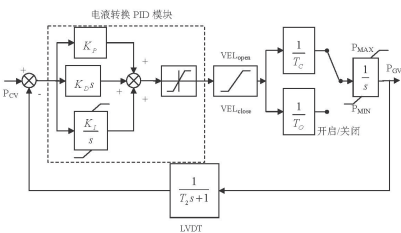


图3 电液伺服机构模型
Fig.3 Electric-hydraulic servo actuator model

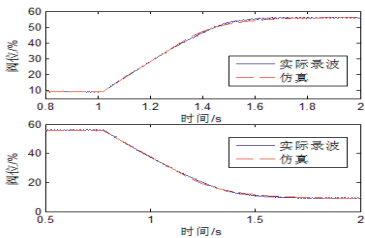


图4 执行机构开度大阶跃仿真结果
Fig.4 Simulation results of actuator valve position under large step disturbance

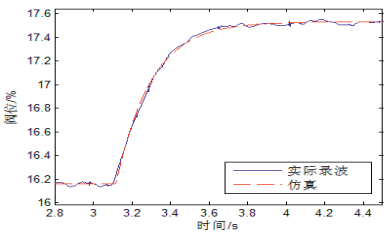


图5 执行机构开度小阶跃仿真结果（开启）
Fig.5 Simulation results of actuator valve position under small step disturbance(open)

调节系统根据不同的工作方式计算输出阀位指令 P_{CV} ，电液伺服系统根据阀位指令改变调节阀开度 P_{GV} ，决定进入汽轮机的蒸汽流量，蒸汽进入汽轮机膨胀做功，产生机械功率 P_M 。文章将对调速系统部分进行参数辨识，具体结构如图2、图3所示。

图2是电液调速系统(DEH)控制系统的模型， T_1 为转速

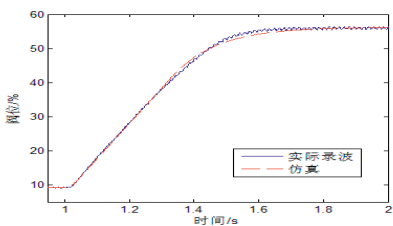


图6 执行机构大开度阶跃变化校核（开启）
Fig.6 Verification of actuator valve position under large step disturbance(open)

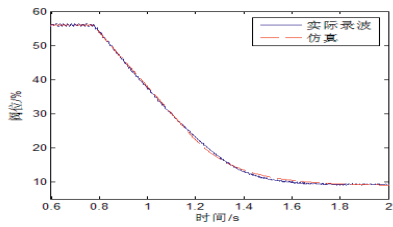


图7 执行机构大开度阶跃变化校核（关闭）
Fig.7 Verification of actuator valve position under large step disturbance(close)

表1 仿真与实测偏差（大开度）
Table 1 Error of simulation and test value(large step)

名称	品质参数	实测值	仿真值	偏差	偏差允许值
开启	t_{up}	1.47s	1.49s	-0.02s	$\pm 0.2s$
	t_s	1.52s	1.58s	-0.06s	$\pm 1.0s$
关闭	t_{up}	1.38s	1.39s	-0.01s	$\pm 0.2s$
	t_s	1.47s	1.52s	-0.05s	$\pm 1.0s$

变送器时间常数， ϵ 为调速死区(不灵敏区)， K_1 为转速偏差放大倍数， K_2 为转速前馈控制放大系数，控制方式选择有：调节级压力反馈控制、纯转速调节、负荷反馈控制3种方式。在实际建模中，对调节系统参数地确定是通过DCS或DEH中的组态进行检查并换算处理得到。

图3为电液伺服机构的结构图。其中， T_2 为LVDT变送器时间常数， K_p 、 K_i 、 K_d 为PID比例、积分、微分环节倍数， T_o 、 T_c 为油动机开启、关闭时间常数。电液伺服系统的参数是通过其大、小阶跃扰动试验数据辨识得到。

2 参数辨识

通过前面的分析介绍，后文将采用Nelder-Mead单纯形法对某电厂汽轮机调速系统进行参数辨识。该厂汽轮机数字电液调节系统（DEH）是与汽轮机配套的300MW等级全电调型DEH控制系统，控制系统采用艾默生过程控制公司的Ovation系统，液压系统采用上海电气集团股份有限公司成套的高压抗燃油EH装置。

辨识所用数据均来自现场试验数据，通过静态执行机构大开度试验、执行机构小开度试验得到，具体试验项目

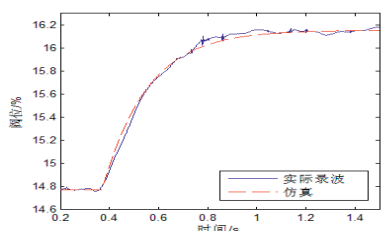


图8 执行机构小开度阶跃变化校核(开启)

Fig.8 Verification of actuator valve position under small step disturbance(open)

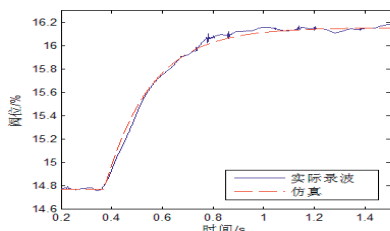


图9 执行机构小开度阶跃变化校核(关闭)

Fig.9 Verification of actuator valve position under small step disturbance(close)

表2 仿真与实测偏差 (小开度)

Table 2 Error of simulation and test value(small step)

名称	品质参数	实测值	仿真值	偏差	偏差允许值
开启	t_{up}	0.76s	0.78s	-0.02s	$\pm 0.2s$
	t_s	0.81s	0.90s	-0.09s	$\pm 1.0s$
关闭	t_{up}	6.03s	6.18s	-0.15s	$\pm 0.2s$
	t_s	6.39s	6.41s	-0.02s	$\pm 1.0s$

及要求见文献[7]内容,数据由数据采集仪在DCS和DEH机柜端子上现场采集,采样频率为1kHz,辨识前需对原始数据进行去噪、标零等处理。目标函数采用式(1)所示表达式:

$$f = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_s - y_r)^2 / (n-1)} \quad (1)$$

公式(1)中, i 表示第 i 个采样点, y_s 表示仿真输出值, y_r 表示实际录波值。

2.1 执行机构参数辨识

以某高调门为例,对执行机构进行参数辨识,通过执行机构开度大阶跃试验数据辨识得到: $T_o=0.96s$, $T_c=1.26s$,仿真曲线如图4、图5所示。

由仿真结果图4可以看出,Nelder-Mead单纯形法在辨识 T_o 、 T_c 时,仿真曲线与实际录波曲线拟合得很接近,说明该方法在辨识执行机构参数时误差较小,具有相当高的精度。

再通过小阶跃试验数据,对电液伺服机构控制系统的

PID参数进行参数辨识得到 $K_p=4.81$, $K_i=0.19$, $K_d=0$,仿真结果如图5所示。

3 仿真校核

在使用辨识得到的模型参数前应对其进行仿真校核以确定参数的准确性,仿真校核是评价模型参数正确性的重要依据。目前,《同步发电机原动机及其调节系统参数实测与建模导则》^[7](下文简称《导则》)对汽轮机调节系统等试验项目和校核误差指标都提出了要求。

将所有辨识和搜集计算得到的参数代入汽轮机调速系统各模型中并在Matlab/Simulink中进行仿真校核研究。

3.1 执行机构大开度阶跃变化仿真校核

执行机构小开度阶跃下的仿真校核结果如图6、图7所示,表1为仿真与实测偏差,主要考核指标有上升时间 t_{up} 和调节时间 t_s 。

由表1结果可知,所有偏差均在允许值范围内,说明所建模型与实际模型较为接近。

3.2 执行机构小开度阶跃变化仿真校核

图8、图9即为执行机构小开度阶跃下的仿真结果,表2为仿真与实测偏差,由结果知,所有偏差均在允许值范围内,说明根据辨识得到的参数所建立的模型符合《导则》要求,辨识方法是正确有效的。

4 结论

建立汽轮机调速系统准确的模型有利于对汽轮机进行控制和优化,基于Nelder-Mead单纯形法辨识得到的汽轮机调速系统参数能建立与实际机组特性较接近的模型,通过对辨识结果进行仿真校核研究,结果说明将Nelder-Mead单纯形法应用于汽轮机调速系统参数辨识是满足一定精度要求的。

参考文献:

- [1] 王官宏,黄兴.汽轮机调速系统参数对电力系统阻尼特性的影响[J].电力自动化设备,2011,31(4):87-90.
- [2] 李蔚,张政江,盛德仁,等.基于RLS的汽轮机数字电液调节系统参数辨识[J].浙江大学学报:工学版,2008,42(10):1761-1764.
- [3] 戴义平,田云峰.BP网络在汽轮机调节系统参数估计中的应用研究[J].汽轮机技术,1998,40(6):348-352.
- [4] Lin Gao,Yiping Dai,Junrong Xia,A new framework for power system identification based on an improved genetic algorithm[C]// Industrial Electronics and Applications,2009.ICIEA 2009.4th IEEE Conference on,1946-1951, May 2009.
- [5] 李阳海,王坤,黄树红,等.粒子群优化算法及其在发电机组调速系统参数辨识中的应用[J].热能动力工程,2011,26(6):747-750.
- [6] Nelder J.A.,Mead R.. A simplex method for function minimization[J]. Computer Journal,1965,7:308-313.
- [7] 国家能源局发布.DL/T 1235-2013同步发电机原动机及其调节系统参数实测与建模导则[S].北京:中国电力出版社,2013.