

辨识理论在发电机励磁系统建模中的应用

王兴贵¹, 王言徐¹, 智勇²

(1. 兰州理工大学, 甘肃 兰州 730050; 2. 甘肃电力科学研究院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 介绍了辨识理论在发电机励磁系统建模中的应用, 并以某电厂的励磁系统为例, 通过 FFT/LSE 和遗传算法两种不同辨识方法, 对其参数进行辨识。然后从相位裕度和增益裕度两个方面对辨识结果进行理论分析, 最后通过 Matlab 的仿真结果和现场试验结果的对比来验证辨识结果的有效性和可靠性。

关键词: 电力系统; 励磁系统模型; 频域法; 遗传算法

Application of parameters identification theory in generator excitation system modeling

WANG Xing-gui¹, WANG Yan-xu¹, ZHI Yong²

(1. Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;
2. Gansu Electric Power Research Institute, Lanzhou 730050, China)

Abstract: This paper expounds the application of identification theory in generator excitation system parameters testing and illustrates the measurement for the parameters identification of power plant. The parameters satisfying modeling excitation system request can be finally obtained by FFT/LSE and genetic algorithm. Moreover, the result of identification from phase margin and gain margin is analyzed. The identification results of both a simulation system in Matlab and a real excitation system show that the result of identification is able to obtain the accurate parameters of the excitation system.

Key words: power system; excitation system model; frequency domain method; genetic algorithm

中图分类号: TM761 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)07-0052-04

0 引言

发电机励磁系统对电力系统的电压控制和稳定控制具有十分重要的作用^[1], 尤其是在故障情况下, 对系统暂态稳定的影响更大。而励磁系统性能的好坏取决于其参数的设置: 适当的参数设置能够提高系统的稳定性, 增加系统阻尼; 不适当的参数设置可能会起到相反的作用。所以在确定励磁系统数学模型后, 确定具体模型中各参数的数值是十分重要的。传统的辨识方法原理明了、简单易行, 但存在一个共同的缺点, 即只能进行线性系统的参数辨识, 所辨识的结果无法反映系统的非线性动态特性。

本文将FFT (Fast Fourier Transformation, FFT) /LSE (Least Square Theory, LSE) 和GA (Genetic Algorithm, GA) 两种不同的方法用于励磁系统模型中参数的辨识, 通过现场数据和辨识结果的对比来验证其准确性。

1 频域法辨识原理

系统辨识是通过观测一个系统或一个过程的输入输出关系来确定其模型参数, 只要已知输入输出数据精确就能确定系统模型中的未知参数。我国电力系统中目前常用的励磁系统参数辨识方法包括频域辨识法(如 FFT/LSE 法)和时域辨识法(如线性多项式函数法)^[2]。

FFT/LSE 法是一种经典的辨识方法, 它通过 FFT 将系统输入、输出时域信号转换为频域信号^[3]。经噪声滤波后, 消除干扰因素, 获得系统的幅频特性和相频特性。再通过最小二乘法拟合得到的估计参数, 其流程如图 1 所示。

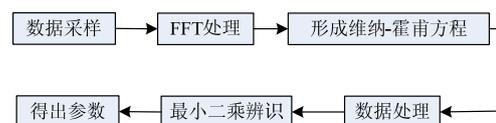


图 1 FFT/LSE 方法流程图

Fig.1 Flow chart of FFT/LSE method

基金项目: 甘肃教育厅科研项目资助

2 遗传算法辨识原理

发电机励磁系统参数的辨识问题实际上也就是求解数学模型中的未知参数使得误差函数达到极小值的问题。遗传算法是利用其空间快速并行搜索能力, 在众多的可行解集合中找到问题的最优解^[4]。

2.1 遗传算法概括起来包括以下几个步骤

(1) 参数编码及初始种群的产生: 采用二进制多参数编码方案, 把每个参数进行二进制编码得到子串, 再把这些子串连成一个完整的染色体, 即个体。

(2) 适应度函数的设计: 适应度函数是计算个体在群体中被使用的概率。为获取满意的目标函数, 采用函数求和作为参数选择的最大目标函数。

(3) 交叉概率和变异概率的选择: 交叉概率一般取0.6~0.95 之间, 交叉概率太小时难以向前搜索, 太大则容易破坏高适应值的结构。变异概率一般取0.01~0.03之间的值。变异概率太小时难以产生新的基因结构, 太大使遗传算法成了单纯的随机搜索。

2.2 辨识流程

采用 Simulink 建模, 辨识流程如图 2 所示。

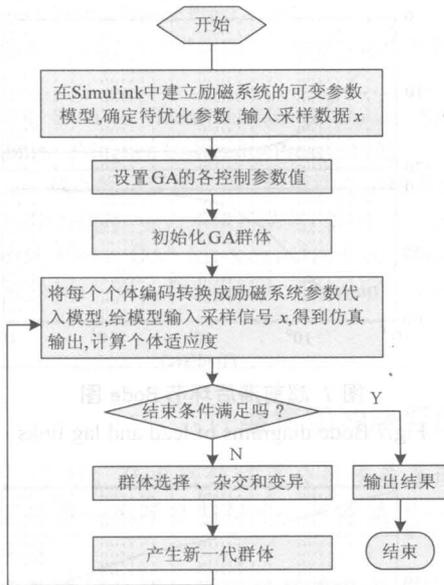


图 2 励磁系统模型参数 GA 辨识法流程

Fig.2 Flow chart for GA parameter identification of excitation system

3 应用实例

本文以某电厂额定容量为 300 MW 的汽轮发电机组为例, 来介绍励磁系统的参数辨识。该励磁系

统为自并励静止励磁方式^[5], 厂家提供的该发电机组的模型框图如图 3 所示。

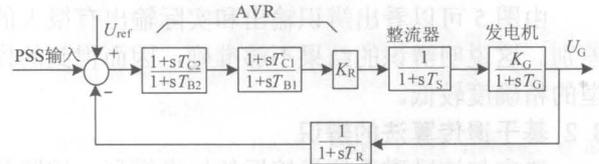


图 3 厂家提供的系统模型

Fig.3 Model provided by plant

辨识所需要的数据采用发电机+10%空载阶跃响应试验的数据。发电机空载阶跃响应试验结果如图 4 所示。图中 U_{AB} 表示机端电压; U_{FD} 表示励磁电压。

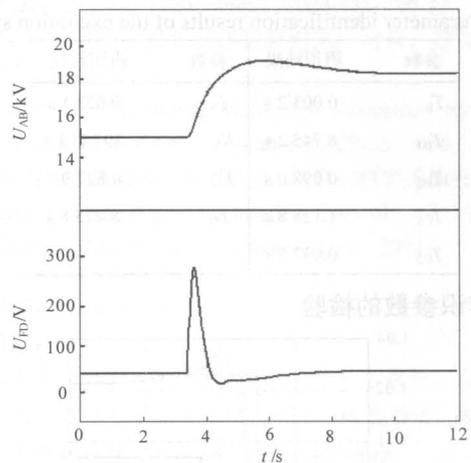


图 4 +10%阶跃响应现场波形

Fig.4 System response curve under +10% step-up test

3.1 基于 FFT/LSE 法的辨识

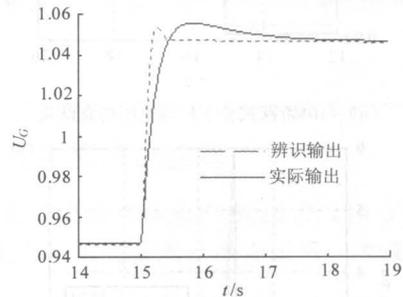


图 5 实际系统与 FFT/LSE 辨识系统的响应输出

Fig.5 Response of real system and model system identified by FFT/LSE

参数辨识主要分成快速傅里叶变换和最小二乘法求出系统参数两个过程。以现场10%试验数据为基础, 辨识得到的系统传递函数为:

$$G(S) = \frac{567.968s + 539.72}{2.4636s^3 + 57.01s^2 + 15.06s + 1}$$

将该式代入模型系统，在相同的扰动下，仿真结果和系统实际输出曲线如图 5 所示。

由图 5 可以看出辨识输出和实际输出有很大的差别。这说明辨识的结果不够准确，因而得到的模型的精确度较低。

3.2 基于遗传算法的辨识

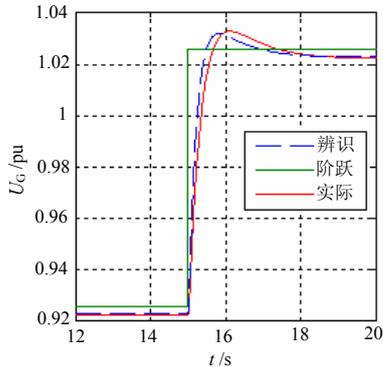
选定与该励磁系统最接近的标准模型，按照基于遗传算法的辨识方法，在 Matlab 中建立机组励磁系统智能辨识模型。模型中的扰动信号与现场试验的相同，以现场的+10%空载阶跃试验的输入输出数据为基础，采用基于遗传算法的辨识方法对模型参数进行辨识。辨识得到的各个环节参数如表 1 所示。

表 1 发电机励磁系统参数辨识结果

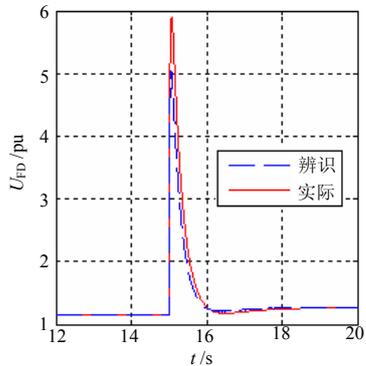
Tab.1 Parameter identification results of the excitation system

参数	辨识结果	参数	辨识结果
T_R	0.003 2 s	T_S	0.023 1 s
T_{B1}	8.745 2 s	K_R	397.119 5
T_{B2}	0.098 0 s	K_G	0.827 9
T_{C1}	1.125 8 s	T_G	8.275 8 s
T_{C2}	0.097 5 s		

3.3 辨识参数的检验



(a) +10%阶跃试验下机端电压仿真结果



(b) +10%阶跃试验下励磁电压仿真结果

图 6 实际系统与辨识系统的响应输出

Fig.6 Response of real system and model system identified by genetic algorithm

用辨识所得的参数进行仿真，与实际系统的输出进行比较以验证辨识参数的有效性，如图 6 所示。

根据励磁系统建模的要求^[6]，仿真结果与现场试验结果误差应在下述范围内：发电机电压上升时间相差小于 0.1 s；峰值时间相差小于 0.1 s；超调量相差小于 50%；调整时间相差小于 2 s。通过图 6 可以看出其各项指标均满足要求。说明所得的参数是符合要求的。

3.4 励磁系统稳定性分析

模型的好坏只通过分析其稳定性是不够的，还需要知道系统的动态性能，即通过系统的稳定裕量来判断系统的相对稳定性^[7]。本文通过对参数辨识得到的励磁系统进行频域分析，这样既判断出该系统的稳定性和相对稳定性，也能对辨识的结果进行再次检验。

实际上，该电厂只采用一级串联滞后环节校正和 PSS 控制的策略，现场进行阶跃试验时，PSS 未投入运行，其中辨识后得到一级串联滞后校正环节的传递函数为：

$$W(S) = \frac{1+1.1258s}{1+8.7452s}$$

其 Bode 图如图 7 所示。

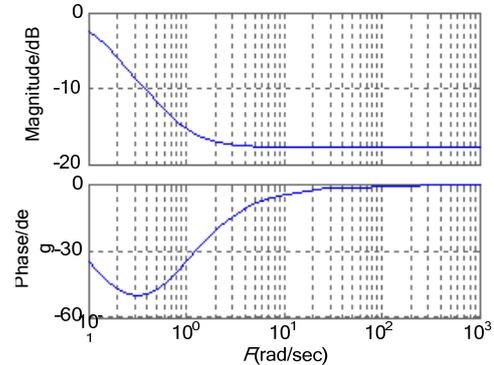


图 7 超前滞后环节 Bode 图

Fig.7 Bode diagrams of lead and lag links

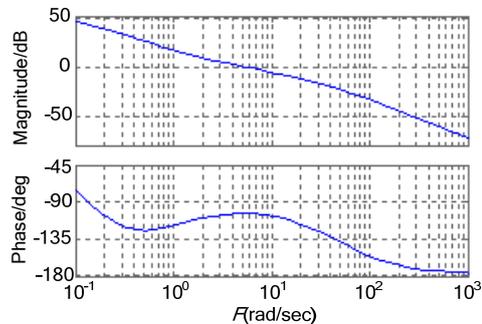


图 8 励磁系统开环频率特性

Fig.8 Bode diagrams of excitation systems

由表 1 得到发电机励磁控制系统开环传递函数为:

$$G(S) = \frac{372.82s+331.16}{1.6721s^3+72.7659s^2+17.044s+1}$$

由 G(S) 绘制的系统开环 Bode 图如图 8 所示。

由图可知该励磁系统的相位裕度 $P_m=76^\circ$; 当 $\omega \rightarrow \infty$ 时, 相角趋于 -180° , 所以增益裕度 G_m 为 $+\infty$ 。由此可以看出经辨识得到的励磁系统具有很好的相对稳定性。

4 结论

本文以某电厂的现场试验数据为基础, 介绍了参数辨识在励磁系统建模中的应用。通过两种不同的方法对励磁系统参数进行辨识, 并从相位裕度、增益裕度和仿真波形等方面对辨识结果进行校验。最终得到符合建模要求的、与现场数据相吻合的模型参数。

参考文献

- [1] 李基成. 现代同步发电机励磁系统设计与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
LI Ji-cheng. Design & Application of Modern Synchronous Generator Excitation System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
- [2] 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.
- [3] 蒋平, 戴列峰, 黄霆, 等. 频域法在励磁系统参数辨识中的应用[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(16): 30-33.
JIANG Ping, DAI Lie-feng, HUANG Ting, et al. Application of Frequency Domain Method in

Identification for Excitation Systems of Generators[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(16): 30-33.

- [4] 王晓伟, 蒋平, 曹亚龙, 等. 改进遗传算法在发电机励磁系统参数辨识中的应用[J]. 继电器, 2007, 35(11): 16-20.
WANG Xiao-wei, JIANG Ping, CAO Ya-long, et al. Application of Improved Genetic Algorithm in Parameter Identification of Generator Excitation Systems[J]. Relay, 2007, 35(11): 16-20.
- [5] 郝满江, 黄梅. 发电机励磁方式及自并励励磁系统[J]. 东北电力技术, 2004(11): 30-32.
HAO Man-jiang, HUANG Mei. On Generator Excitation Mode of Self-parallel Excitation System[J]. Northeast Electric Power Technology, 2004(11): 30-32.
- [6] 同步发电机励磁系统建模导则[Z]. 北京: 国家电网公司, 2006.
Guide for Modeling Generator Excitation System[Z]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2006.
- [7] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
HU Shou-song. Feedback Control of Dynamic Systems[M]. Beijing: Science Press, 2001.

收稿日期: 2009-04-22

作者简介:

王兴贵(1963-), 男, 教授, 硕士生导师, 主要从事运动控制、电力电子技术应用、电力系统自动化、控制理论与控制工程的研究; E-mail: wangxg@lut.cn

王言徐(1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为控制理论与控制工程;

智勇(1974-), 男, 高级工程师, 主要从事大型同步发电机励磁控制、发电厂变电站综合自动化的研究。

许继集团油浸变压器产品在国网批招中实现新突破

3月17日, 从电网销售总公司传来喜讯, 在国家电网公司集中规模招标采购2010年110 kV设备/材料华东区域第一批项目招标中, 许继集团一举中标, 实现天宇电气油浸变压器产品在国网一次设备集中招标的新突破。

此次是许继集团油浸变压器产品第一次参与国网公司一次设备集中招标。在张学深副总裁、白玉良总裁助理的指挥下, 电网销售总公司、北京办事处、国网分公司和天宇电气通力协作, 精心策划, 制定关键措施, 并准确实施。最终, 在与46家变压器投标厂家的竞争中顺利中标。

此次中标是在“掘市场”的思路下, 集团公司协作销售取得的又一重大成果, 也是电网销售总公司继在广东电网2010年度框架招标中标BD045 10 kV消弧线圈成套装置后, 积极贯彻集团“市场年”活动的又一重大推进。