

改进遗传算法在发电机励磁系统参数辨识中的应用

王晓伟¹, 蒋平¹, 曹亚龙¹, 徐珂²

(1. 东南大学电气工程学院, 江苏 南京 210096; 2. 江苏省电力试验研究院, 江苏 南京 210036)

摘要: 提出了一种基于改进遗传算法的将发电机励磁系统原模型转换为仿真软件下标准模型的参数辨识方法, 以原模型和标准模型的输出误差最小作为辨识目标, 利用改进遗传算法不断优化调整标准模型中的参数, 最终得到满足要求的励磁系统标准模型参数。与传统的励磁系统参数辨识方法相比较, 该方法很好地解决了励磁系统非线性环节难以有效辨识的问题, 方便可靠, 精度高。实际发电机励磁系统参数辨识结果表明, 该方法具有很好的效果。

关键词: 励磁系统; 参数辨识; 遗传算法; 原模型; 标准模型

Application of improved genetic algorithm in parameter identification of generator excitation systems

WANG Xiao-wei¹, JIANG Ping¹, CAO Ya-long¹, XU Ke²

(1. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Jiangsu Electric Power Test and Research Institute, Nanjing 210036, China)

Abstract: A new method based on improved genetic algorithm for identifying parameters of generator excitation system is introduced in this paper. This method is used to convert the original model of generator excitation system to the standard model of excitation system. By using improved genetic algorithm, with the minimal difference between the output of the original model and that of the standard model being the object, the parameters of generator excitation system are adjusted constantly. Finally, the most suitable parameters of generator excitation system can be obtained. Compared with traditional identification methods, this method solves the problem that nonlinear part of excitation system is difficult to identify, and the result is more accurate. The actual identification result shows that this method can obtain the accurate parameters of the standard model of generator excitation system.

Key words: excitation system; parameter identification; genetic algorithm; original model; standard model

中图分类号: TM711

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)11-0016-05

0 引言

在电力系统正常运行或事故运行中, 同步发电机励磁系统起着重要的作用。它具有控制电压, 控制无功功率的分配, 提高同步发电机并联运行的稳定性, 和改善电力系统运行特性的能力^[1, 2]。因此, 在对电力系统进行稳定分析时, 以往常用的发电机 E_q' 恒定的简化模型已不能满足要求, 有必要采用励磁系统精确模型进行稳定分析。目前一些电力系统仿真软件大多自带一些励磁系统标准模型供仿真分析时使用, 然而实际励磁系统原模型往往不是这些软件中的标准模型, 所以必须采用参数辨识的方法将其转换为仿真软件模型库中的标准模型。换言之, 即是确定仿真软件中标准模型的参数, 使之具有和励磁系统原模型相同或相近的动态特性, 以供仿真计算调用。

传统的励磁系统参数辨识方法分频域法和时

域法两类。频域内的 FFT/LSE 法^[3]和时域内的 PLPF 法^[4]是常用的励磁系统参数辨识方法, 两种方法原理清晰, 方便易行, 并在实际励磁系统参数辨识中得到了广泛的运用。但它们的不足之处在于不能很好地解决励磁系统高阶非线性环节参数辨识问题。遗传算法(GA)是模仿自然界生物进化机制发展起来的随机全局搜索的优化方法, 本文将 GA 用于励磁系统参数辨识, 有效解决了励磁系统高阶非线性环节难以辨识的问题。根据励磁系统原模型、标准模型输出采样点数据直接在时域上进行辨识, 方便可靠, 精度高。

1 励磁系统参数辨识原理

进行励磁系统参数辨识时, 励磁系统原模型的模型结构及参数是已知的, 仿真软件中标准模型的模型结构也已知。参数辨识的任务就是确定标准模

型中的参数,使励磁系统原模型和标准模型的输入、输出特性保持一致或保持在误差允许范围之内。励磁系统参数辨识的原理如图 1 所示。

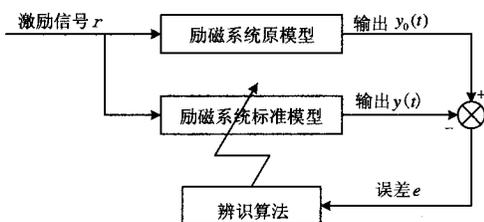


图 1 励磁系统参数辨识原理

Fig. 1 Theory of excitation system's parameter identification

参数辨识的过程为,在同一激励信号 r 的作用下,励磁系统原模型产生输出信号 $y_0(t)$,励磁系统标准模型产生输出信号 $y(t)$,两者误差为 e ,经辨识算法不断调整优化标准模型参数,直至误差 e 最小为止^[5]。

2 基于改进遗传算法的励磁系统参数辨识

2.1 遗传算法基本原理

GA 是基于自然遗传学机理的随机优化概率搜索算法,适用于处理传统搜索方法难以解决的复杂和非线性问题。它通过群体搜索策略和群体中个体之间的信息相互交换,模拟由个体组成的群体的整体学习,从任一初始化的群体出发,通过选择、交叉和变异等遗传操作,使群体一代代地优化,直至抵达最优解^[6]。

GA 具有全局性,并行性,较好的适应性和鲁棒性,已在电力系统各领域得到了广泛的应用^[7~9]。由于 GA 是一种并行算法,能够对数据空间进行全局搜索,并能以很大的概率找到全局最优解,这使得 GA 可以非常方便地用于励磁系统参数辨识。文献[10]介绍了应用 GA 对具体问题优化的详细过程,本文研究如何应用 GA 进行励磁系统参数辨识。

2.2 励磁系统参数辨识流程

2.2.1 目标函数的建立

将误差函数作为励磁系统参数辨识的目标函数。在同一激励信号作用下,设励磁系统原模型的输出为 Y_0 ,标准模型的输出为 Y ,对输出 Y_0 和 Y 进行采样,并按式(1)进行计算:

$$F = \sum_{i=1}^n (Y_{0i} - Y_i)^2 \quad (1)$$

式中: n 为采样点的个数。

励磁系统参数辨识的目标就是使目标函数 F 取最小值。

2.2.2 励磁系统非线性环节的辨识

实际发电机励磁系统由于限幅环节等因素的影响,不再是一个简单的线性系统。GA 辨识法直接基于励磁系统原模型和标准模型进行辨识,比频域法和时域法更好地计及了这些非线性环节的作用。GA 辨识法首先建立励磁系统的原模型和标准模型,包括原模型和标准模型中各种非线性环节的建立,然后给励磁系统标准模型中各待辨识的参数进行编码,包括非线性环节参数的编码。再通过 GA 的不断优化,最终得到励磁系统标准模型的最优参数。可见,GA 辨识法充分考虑了励磁系统的非线性特性,可以很好地解决励磁系统非线性环节的参数辨识问题。

2.2.3 参数辨识流程

以下为基于改进遗传算法的发电机励磁系统参数辨识的具体步骤:

1) 确定表示可行解的染色体编码方法,也即确定个体的基因型 X 及遗传算法的搜索空间。本文使用二进制编码方法,设一个参数用 l 位的二进制编码串表示,假设某一参数的取值范围是 $[U_{\min}, U_{\max}]$,则参数值 x 对应于 l 位二进制编码串 $X: b_l b_{l-1} b_{l-2} \dots b_2 b_1$ 的解码公式为:

$$x = U_{\min} + \left(\sum_{i=1}^l b_i \times 2^{i-1} \right) \times \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2^l - 1} \quad (2)$$

2) 建立励磁系统原模型和标准模型,确定目标函数。本文采用 Matlab 的 Simulink 建立励磁系统的原模型和标准模型,将式(1)作为参数辨识的目标函数。

3) 种群初始化。本文采用文献[11]介绍的小区间生成法初始化种群,即先把励磁系统标准模型各参数的取值范围分成个体总数个小区间,再在各小区间内分别随机生成一个初始个体,这样就能保证随机产生的各个体间有差别性,并均匀地分布在解空间上,增强了搜索收敛于全局最优解的可能。

4) 确定个体适应度的量化评价方法,即确定出由目标函数 F 到个体适应度 $eval$ 的转换规则。本文将适应度函数取为:

$$eval = M - F \quad (3)$$

式中: M 为适应度设定值, $M > 0$ 。

由于将误差函数作为目标函数 F ,所以当误差函数越小时,个体适应度越大,该个体被遗传到下一代的概率也越大;当误差函数值大于适应度设定值时,该个体的适应度将被取作零,该个体将被淘汰。

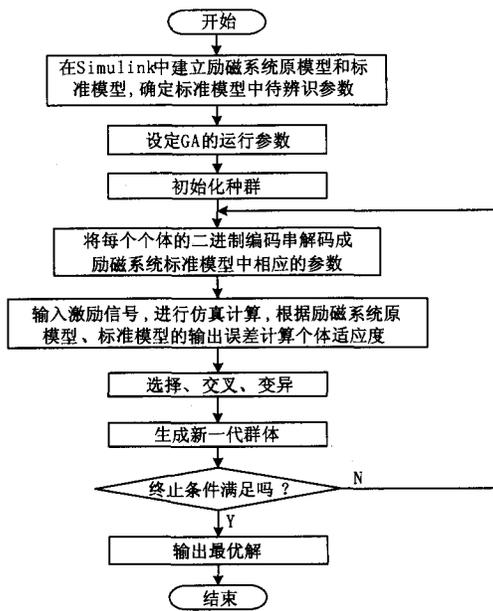


图 2 励磁系统参数辨识流程图

Fig. 2 Flow chart of excitation system's parameter identification

5) 设计遗传算子, 即确定出选择运算、交叉运算、变异运算等遗传算子的具体操作方法。本文采用改进的无回放余数随机选择法和最优保存策略^[12]。无回放余数随机选择法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。最优保存策略可以确保父代中的优秀个体直接进入下一代, 这样可防止复制、交叉或变异中的偶然因素破坏优秀个体, 使优化过程在概率性全局上收敛。本文采用多点交叉法和非均匀变异。

6) 判断进化代数是否达到设定值。若已达到设定值, 则输出励磁系统标准模型参数的最优解, 否则继续进行适应度评价, 进行遗传操作, 生成新一代群体。

参数辨识流程如图 2 所示。

3 算例分析

本文所提出的方法已经用于江苏电网 125MW 及以上发电机组励磁系统的参数辨识, 把这些典型机组的励磁系统转换为中国电力科学研究院《电力系统分析综合程序》(PSASP)下的标准模型, 得到了较好的效果。励磁系统原模型根据江苏省电力试验研究院现场实测所得的励磁系统模型及参数建立。以下给出将 MEC3300T 型励磁系统原模型转换成 PSASP 下标准模型的参数辨识过程。

3.1 励磁系统模型结构

MEC3300T 型励磁系统原模型框图如图 3 所示。

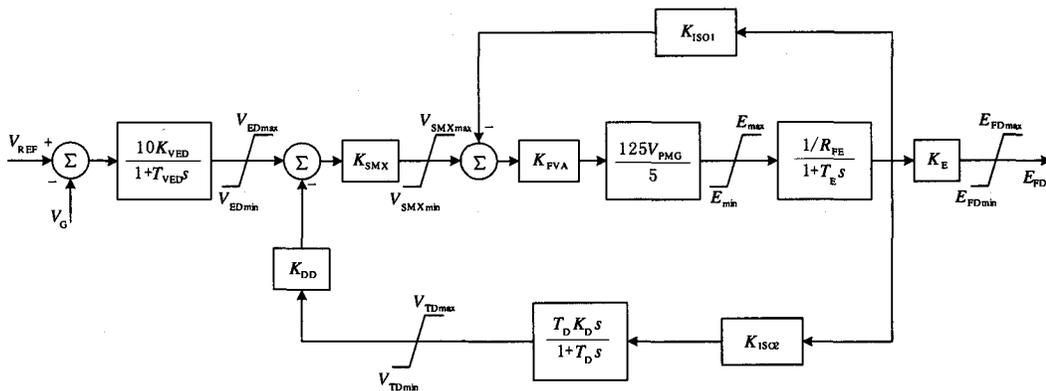


图 3 MEC3300T 型励磁系统原模型框图

Fig. 3 The frame of MEC3300T excitation system

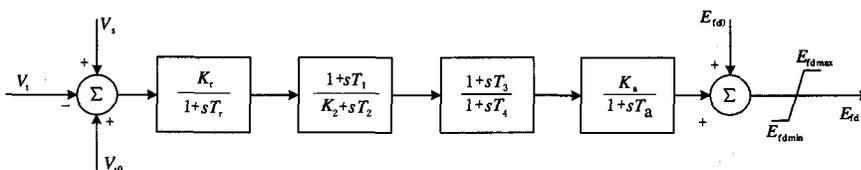


图 4 PSASP 下 AVR2 型励磁系统标准模型框图

Fig. 4 The frame of AVR2 excitation system

原模型参数为: $10K_{VED} = 3.7$, $T_{VED} = 0.01$, $K_{SMX} = 4$, $25K_{PVA}V_{PMG} = 162.45$, $1/R_{FE} = 1.28$,

$T_E = 1.56$, $K_E = 6.286$, $K_{ISO1} = 0.067$, $K_{DD} = 0.2$,
 $T_D K_D = 4.2$, $T_D = 1$, $K_{ISO2} = 0.058$ 。

标准模型为 PSASP 下 AVR2 型励磁系统, 其框图如图 4 所示。

在 Simulink 中建立的励磁系统传递函数框图如图 5 所示。

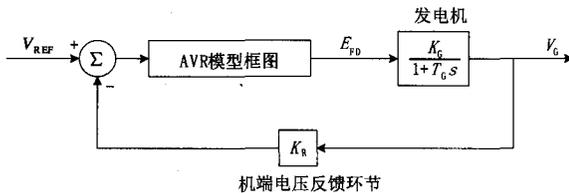


图 5 励磁系统传递函数框图

Fig. 5 The frame of generator excitation system

$$G_G(s) = \frac{K_G}{1 + T_G s}$$

$K_G = 0.035$, $T_G = 8.2$, $K_R = 10$ 。

3.2 参数辨识结果

PSASP 下 AVR2 型励磁系统标准模型中 K_2 的值设为 1, 待辨识的参数共 10 个, 每个参数用 12 位二进制串表示。群体规模设为 50, 进化代数设为 100, 交叉概率设为 0.8, 变异概率设为 0.05。

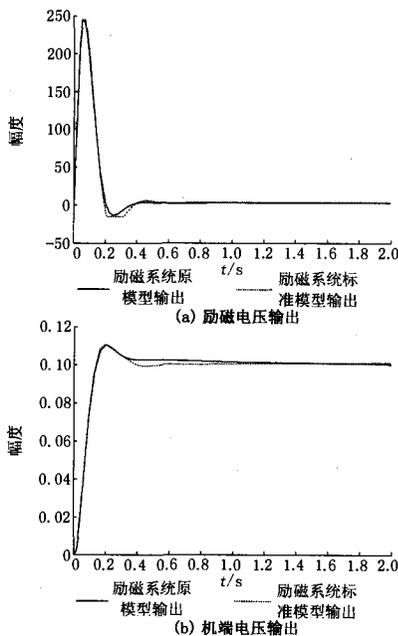


图 6 励磁系统原模型与标准模型的响应输出

Fig.6 Responses of original model and standard model of excitation system

在 Simulink 中按照图 3、图 5 建立励磁系统原

模型; 按照图 4、图 5 建立励磁系统标准模型。发电机空载运行, 给原模型和标准模型施加同一个单位阶跃扰动信号, 比较两者的输出误差, 调用 GA 程序不断优化调整标准模型中的参数, 使输出误差最小。

参数辨识所得励磁系统标准模型参数值为:

$$K_r = 15.078, T_r = 1.181, T_1 = 2.652, T_2 = 1.585, \\ T_3 = 1.236, T_4 = 0.011, K_a = 13.965, T_a = 0.033, \\ E_{fd\max} = 262.226, E_{fd\min} = -21.352。$$

励磁系统原模型与标准模型响应输出特性比较结果见图 6。

由图 6 可见, 励磁系统标准模型和原模型的响应输出曲线几乎重合。辨识得到的励磁系统标准模型能较精确地模拟实际发电机励磁系统。

4 结论

本文给出了一种基于改进遗传算法的发电机励磁系统参数辨识方法, 可以有效解决励磁系统高阶非线性环节参数辨识问题。将 MEC3300T 型励磁系统原模型转换为 PSASP 软件下 AVR2 型标准模型, 实际辨识结果表明了该方法的有效性和精确性, 可在励磁系统模型转换以及系统仿真分析中实际应用。

参考文献

- [1] Kundar P. Power System Stability and Control[M]. New York: McGraw-Hill, 1994.
- [2] 倪以信, 陈寿孙, 张宝霖. 动态电力系统的理论和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
NI Yi-xin, CHEN Shou-sun, ZHANG Bao-lin. The Theory and Analysis of Dynamic Power System[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [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 Parameter Identification for Excitation Systems of Generators[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (16): 30-33.
- [4] 王良, 沈善德, 朱守真, 等. 基于 EE 模型的励磁系统参数时域辨识法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (8): 25-28.
WANG Liang, SHEN Shan-de, ZHU Shou-zhen, et al. A Method of Time Domain Identification Based on EE Model[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26 (8): 25-28.
- [5] 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.
- [6] 李敏强, 寇纪淞, 林丹, 等. 遗传算法的基本理论与运用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
LI Min-qiang, KOU Ji-song, LIN Dan, et al. Genetic Algorithm Basic Theory and Application[M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [7] 张粒子, 舒隽, 林宪枢, 等. 基于遗传算法的无功规划优化[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(6): 5-8.
ZHANG Li-zi, SHU Jun, LIN Xian-shu, et al. Reactive Power Planning Based on Genetic Algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(6): 5-8.
- [8] 叶在福, 单渊达. 基于边界搜索策略的遗传算法在电网扩展规划中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(11): 41-45.
YE Zai-fu, SHAN Yuan-da. An New Transmission Network Expansion Planning Using Improved Genetic Algorithm Based on Border Line Search Strategy[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(11): 41-45.
- [9] 汪峰, 朱艺颖, 白晓民. 基于遗传算法的机组组合研究[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(6): 36-41.
WANG Feng, ZHU Yi-ying, BAI Xiao-min. Study of GA-based Unit Commitment[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(6): 36-41.
- [10] 玄光南, 程润伟. 遗传算法与工程优化[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
XUAN Guang-nan, Cheng Run-wei. Genetic Algorithms and Engineering Optimization[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [11] 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]. Systems Engineering and Electronics, 2003, 25(11): 1427-1430.
- [12] 张志顺, 胡勇刚, 赵宏伟, 等. 基于改进形式的遗传算法研究[J]. 微电子学, 2002, 32(4): 273-275.
ZHANG Zhi-shun, HU Yong-gang, ZHAO Hong-wei, et al. Research on an Improved Genetic Algorithm[J]. Microelectronics, 2002, 32(4): 273-275.

收稿日期: 2006-08-30; 修回日期: 2007-04-12

作者简介:

王晓伟(1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统运行与控制; E-mail: wangxw_nj@163.com

蒋平(1954-), 男, 教授, 主要研究方向为电力系统运行控制和电力电子在电力系统中的应用;

曹亚龙(1979-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统运行与控制。

(上接第4页 continued from page 4)

- WANG Jian, LU Ji-ping, et al. New Design of Fault Line Selection Device for Indirectly Grounding Power System[J]. Realy, 2004.
- [9] 索南加乐, 张超, 等. 基于模型参数识别法的小电流接地故障选线研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(19): 65-70.
SUONAN Jia-le, ZHANG Chao, et al. Fault Line Selection in the Non-solid Earthed Network Based on the Model Identification Method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(19): 65-70.
- [10] 陈忠仁, 吴维宁, 陈家宏. 配电网自动消弧装置的测量跟踪问题[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(10): 84-87.
CHEN Zhong-ren, WU Wei-ning, CHEN Jia-hong. Measuring and Tracing of Automatic Arc-suppression Devices in Distribution Network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(10): 84-87.
- [11] 王耀南, 等. 基于小波包的小电流接地系统故障选线的新判据[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(6): 54-58.
WANG Yao-nan, et al. A New Criterion for Earth Fault Line Selection Based on Wavelet Packets in Small Current Neutral Grounding System[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(6): 54-58.
- [12] 要焕年, 曹梅月. 电力系统谐振接地[M]. 北京: 水力电力出版社, 2001.
YAO Huan-nian, CAO Mei-yue. The Resonant Earth in Power System[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 2000.

收稿日期: 2006-12-11; 修回日期: 2007-01-19

作者简介:

李健(1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: jila2007@yahoo.com.cn

卢继平(1962-), 男, 副教授, 主要从事电力系统继电保护与控制的研究工作;

黎颖(1981-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护。