

基于自适应差分算法的电力系统稳定器参数设计

杨祉涵, 张雪霞, 李 奇, 邓美玉

(西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

摘 要: 自适应差分算法强大高效, 是一种基于群体的随机搜索技术, 一般用于连续空间优化问题求解, 被广泛应用于科学和工程领域。自适应差分算法是在差分进化算法基础上经过改进得到的算法, 其实验向量生成策略及其相关的控制参数值拥有自适应能力, 这种能力是通过从前期生成可能解的过程中学习得来的。在利用 Simulink 建立起单机无穷大系统仿真模型的基础上, 根据时间乘绝对误差积分准则 (ITAE 准则) 设计寻优问题的目标函数, 将电力系统稳定器的参数设计问题转化为最小化问题, 并用自适应差分算法求解。最后在单机无穷大系统上进行仿真实验, 结果表明经过优化设计的电力系统稳定器拥有良好性能。

关键词: 自适应差分算法; Simulink; ITAE 准则; 单机无穷大系统

Abstract: Differential evolution (DE) algorithm is an efficient and powerful population-based stochastic search technique for solving the optimization problems over continuous space which has been widely applied to the scientific and engineering fields. Self-adaptive differential evolution (SaDE) algorithm is the improved algorithm, in which both trial vector generation strategies and their associated control parameter values are gradually self-adapted by learning from their previous experiences in generating promising solutions. Based on the simulation model of single machine infinite bus system, the objective function of optimization issue is designed according to the time by absolute error integral criterion (ITAE criterion). The parameter design issue of power system stabilizer is converted to the minimization issue. Finally, the simulation test is carried out on a single machine infinite bus system, and the results show that the power system stabilizer has a good performance after the design optimization.

Key words: self-adaptive differential evolution algorithm; Simulink; ITAE criterion; single machine infinite bus system

中图分类号: TM712 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)03-0026-03

0 引 言

在电力系统运行的时候^[1], 若发电机经输电线路并列运行, 且此时又有扰动发生, 则会出现发电机转子之间的相对摇摆, 这会在缺乏必要阻尼的时候造成持续振荡; 与此同时, 输电线的功率也有相应的振荡, 对功率正常输送造成影响; 电力系统低频振荡时常发生在长距离且重负荷的输电线上, 现代多使用快速高顶值倍数的励磁系统, 这就使得励磁系统时间常数减小而造成系统阻尼减小, 增加了低频振荡发生的可能性。

于 20 世纪 60 年代后期出现的电力系统稳定器 (power system stabilizer pss), 目前已经得到了全世界范围内的广泛使用。据国际大电网会议第 38 届研究委员会组织的专门工作组做出的专门研究结论中指出^[2]为消除低频振荡的威胁, 首先应该仔细考虑研

究如何对系统中主要发电机的电力系统稳定器进行整定, 因为截至目前为止, PSS 仍可称得上是抑制低频振荡最为经济有效的手段。

差分进化算法是一种基于群体的随机搜索算法^[3], 它一般用于连续空间优化问题求解, 在科学和工程领域都有广泛的应用。尽管如此, 进化差分算法在解决特定问题上能否取得成功很大程度依赖于正确选择实验向量的生成策略和与其相关的控制参数值。采用了一种自适应差分进化 (SaDE) 算法, 该算法中实验向量生成策略及其相关的控制参数值有自适应能力, 这是通过从前期生成可能解的过程中学习得来的。因此, 一个更合适的生成策略以及它的参数设置可以自适应地确定并且匹配搜索过程进化的不同阶段。它避免了在“实验与错误”环节寻找最合适实验向量生成策略和相关参数值的计算损耗。而是在前期生产可能解的经验中使得策略和相关参数都能够达到自适应。

采用了自适应进化差分算法对电力系统稳定器的参数进行设计,将时间乘绝对误差积分准则(即 ITAE 准则)作为设计目标。ITAE 准则是一种选择性和实用性都比较好的误差积分准则,它反映了系统的综合控制性能,所以是最常用的目标函数之一。虽然用解析法运算比较困难,但借助计算机辅助运算就不难确定系统的最优参数。以往的电力系统稳定器的参数寻优更多是寻找机电振荡模式下的最小阻尼比,而根据 ITAE 准则进行设计能够综合考虑 PSS 与励磁系统的性能。

的是转子角速度; ω_m 表示的是转子角速度的稳态值; λ 表示可调权重因子。

至此该寻优问题可以完整的表达为

$$\begin{cases} \min \int_0^t |i|\omega_m(t) - \omega_{ms}| dt \\ T_{1\min} < T_1 < T_{1\max} \\ T_{3\min} < T_3 < T_{3\max} \\ K_{\min} < K_1 < K_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

上式中增益 K 的取值范围 $[0.1, 1000]$, T_1 和 T_3 的取值范围为 $[0.01, 1]$ 。

1 PSS 参数设计问题的数学描述

2 自适应差分算法简介

1.1 PSS 的数学模型描述

常用超前一滞后校正模型 PSS 的传递函数框图如图 1 所示^[4]。

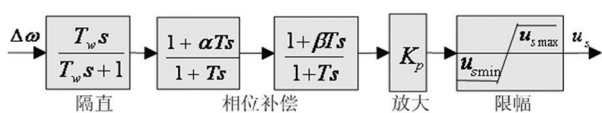


图 1 电力系统稳定器传递函数框图

实际 PSS 的输入信号有可能为加速功率偏差,现选择转速偏差作为输入信号。传递函数如下所示。

$$U = K \cdot \frac{sT_w}{1 + sT_w} \cdot \frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \cdot \frac{1 + sT_3}{1 + sT_4} \Delta\omega \quad (1)$$

式中, T_w 为隔直环节的时间常数; T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 为超前一滞后环节的时间常数; K 为 PSS 增益。一般来说,时间常数 T_w 、 T_2 和 T_4 是已经确定的,需要设计的参数就是 K 、 T_1 和 T_3 。

1.2 PSS 参数设计的目标函数及其约束条件

目前看来,电力系统稳定器的参数寻优更多是寻找机电振荡模式下的最小阻尼比,为同时考虑 PSS 与励磁系统的综合性能,将优化的控制目标设为系统输出按最小误差跟踪给定值的能力,即遵循 ITAE 准则。ITAE 准则是在已知传递函数下,求最佳化系统瞬态响应的简捷方式。与其他准则相比较,能产生较小的超调和振荡。从动态角度看,ITAE 准则在处理误差绝对值与时间乘积的积分时,能够兼顾受扰动时系统在振荡过程中及趋于平稳时的输出误差^[5],因此将其选为寻优问题的目标函数。

$$f = \int_0^t |i|\omega_m(t) - \omega_{ms}| dt \quad (2)$$

式(2)即为选定的目标函数,在式(2)中 ω_m 表示

所采用的自适应进化差分算法避免了在“实验与错误”环节寻找最合适实验向量生成策略和相关参数值的计算损耗。而是在前期生产可能解的经验中使得策略和相关参数都能够达到自适应。

2.1 实验向量生成策略自适应

在自适应差分算法中,对每个当前代的目标向量,一个实验向量生成策略的选择是依据其在前代中成功生成进化解的确定数量得出的概率。选定的策略后来是应用到相应的目标向量上来生成试验向量。更具体的是,在每代中,选择每个策略的概率和为 1。这些概率是在进化中按如下方法进行自适应的:设第 k 个策略在当前代的概率是 P_k , $k=1, 2, \dots, K$, 其中 K 是候选集合中包含的总个数。每个策略的初始概率为 $1/K$, 每个策略被选中的概率相同。用随机选择的方式为当前种群的目标向量选中一个实验向量生成策略。在第 G 代时,评价完所有生成实验向量,第 k 种策略生成的成功进入下一代的实验向量数量记为 $n_{k,G}$, 而未能进入下一代的实验向量数量记为 $n_{f,k,G}$ 。用“成败记录”来存储这些数据,称这几代确定数据的循环为学习阶段(LP)。在第 G 代,不同实验向量生成策略生成的实验向量能否进入下一代的成功和失败记录是被存储起来的,一旦存储溢出,最早的记录就会被新的记录取代。

在初始学习阶段后,选择策略的概率依据就变为“成败记录”。在每代中,选择第 k 个策略的概率如下式所示。

$$P_{k,G} = \frac{S_{k,G}}{\sum_{k=1}^K S_{k,G}} \quad (4)$$

[2] 游一捷, 黄继, 邓巨怡, 等. 用局部放电超声故障探测仪探测电缆头故障 [J]. 高压电器, 2000, 18(1): 59—60.

[3] 舒乃秋, 胡芳, 周黎. 超声传感技术在电气设备故障诊断中的应用 [J]. 传感器技术, 2003, 5(22): 1—4.

[4] 王建生, 邱毓昌. 气体绝缘开关设备中局部放电在线监测技术 [J]. 电工电能新技术, 2000(4): 44—48.

[5] 罗勇芬, 黄平, 赵文炎, 等. 多局部放电源的电磁波和声信号时序分析 [J]. 高电压技术, 2007, 33(8): 22—26.

[6] 陆瑾, 袁聪波, 孙骏, 等. 变压器局部放电的声电联合检测技术应用 [J]. 华东电力, 2006, 34(9): 78—80.

[7] 罗勇芬, 李彦明, 刘丽春. 变压器局部放电的超声波和射频联合检测技术的现状和发展 [J]. 变压器, 2003, 40(12): 28—30.

[8] 北京兴迪仪器有限公司. AE900型局部放电故障检测仪技术资料 [Z]. 中国: 北京兴迪仪器有限公司, 2008.

[9] DL/T 555—2004. 气体绝缘金属封闭开关设备现场耐压及绝缘试验导则 [S].

[10] 李晨焱, 时卫东. GIS局部放电监测中超声波法与超高频法的比较 [J]. 科技经济市场, 2006, 17(10): 23.

[11] 苑舜. 全封闭组合电器局部放电超声传播特性及监测问题的研究 [J]. 中国电力, 1997, 30(1): 7—10.

[12] 金立军, 张明锐, 刘卫东. GIS局部放电故障诊断试验研究 [J]. 电工技术学报, 2005, 20(11): 88—92.

[13] 金立军, 胡青, 邱国海, 等. GIS电晕放电监测 [J]. 高电压技术, 2005, 31(3): 25—27.

[14] 金立军, 刘卫东. GIS金属颗粒局部放电的实验研究 [J]. 高压电器, 2002, 38(3): 10—13.

[15] Power Diagnostix Corporation. AIA compact Acoustic Insulation Analyzer Use Manual [Z]. Germany: Power diagnostix corporation, 2005.

作者简介:

周勇军 (1975), 男, 工程师, 从事电力生产技术管理工作。

(收稿日期: 2011—04—18)

(上接第 28 页)

作用效果并不明显。

4 结 论

在 Simulink 中搭建单机无穷大系统系统, 将其与 SaDE 算法程序相结合, 进行了电力系统稳定器的参数优化设计。综合考虑励磁系统和电力系统稳定器的性能, 按照 ITAE 准则选择系统的控制目标, 把电力系统稳定的参数设计问题转化为带有不等式约束的寻优问题。将在 Simulink 中搭建的无穷大系统进行了对电力系统稳定器作用效果的仿真。仿真结果显示, 使用 SaDE 算法优化设计的电力系统稳定器作用效果良好, 超过了经 CIPSO 算法优化的电力系统稳定器。自适应差分进化算法是一种具有较好的全局搜索能力和寻优速度的群体智能优化算法。

参考文献

[1] 束洪春. 电力工程信号处理应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 197—198.

[2] 李莉. 基于遗传算法优化权值的 H^∞ 电力系统稳定器的设计 [D]. 济南: 山东大学硕士论文, 2007.

[3] A. K. Qin, V. L. Huang, P. N. Suganthan. Differential Evolution Algorithm With Strategy Adaptation for Global Numerical Optimization [J]. IEEE Transaction Evolu-

tionary Computation, 2009, 13(2): 398—417.

[4] 范国英, 郭雷, 孙勇, 等. BFO—PSO 混合算法的 PSS 参数优化设计 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2010, 22(6): 28—31.

[5] 吴峰, 陈维荣, 李奇, 等. 基于粒子群优化算法的 PSS 参数优化 [J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(10): 53—58.

[6] J. J. Liang, A. K. Qin, Ponnuthurai Nagarathnam, Suganthan, S. Baskar. Comprehensive learning particle swarm optimizer for global optimization of multimodal functions [J]. IEEE Transaction Evolutionary Computation, 2006, 10(3): 67—82.

[7] J. J. Liang, A. K. Qin, Ponnuthurai Nagarathnam, Suganthan, S. Baskar. Comprehensive learning particle swarm optimizer for global optimization of multimodal functions [J]. IEEE Transaction Evolutionary Computation, 2006, 10(3): 67—82.

作者简介:

杨祉涵 (1985), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定控制。

张雪霞 (1979), 女, 博士研究生, 研究方向为群体智能算法、电力系统无功优化等

李 奇 (1984), 男, 博士研究生, 研究方向为群体智能算法、电力系统稳定控制等。

邓美玉 (1987), 女, 硕士研究生, 研究方向为智能电网及新能源应用。

(收稿日期: 2011—04—02)