

基于灵敏度计算的电力系统参数可辨识性分析

谢会玲¹, 鞠平¹, 罗建裕², 宁艳¹, 朱寰², 王小英²

(1. 河海大学电气工程学院, 江苏省南京市 210098; 2. 江苏电力调度通信中心, 江苏省南京市 210024)

摘要: 对于简单电力系统建模中参数可辨识性问题, 以往采用解析方法可以进行分析。但对于大规模电力系统, 解析方法难以进行。文中发现了电力系统参数的可辨识性与灵敏度之间的关系。提出先根据灵敏度的相位来判断参数能否唯一辨识, 再根据灵敏度的大小来选择可辨识的重点参数, 最后采用蚁群算法优化重点参数。通过算例分析, 证明了上述方法的可行性。

关键词: 电力系统建模; 参数可辨识性; 轨迹灵敏度; 特征根灵敏度

中图分类号: TM714

0 引言

目前, 电力系统建模已经得到电力部门的高度重视, 国家电网公司将其列为重点工作。在电力系统建模方面, 基于实测的参数辨识方法是人们研究的重点, 以往研究主要集中于电力系统模型方程和参数辨识方法^[1-3]。

研究和实践表明, 电力系统模型中的有些参数比较容易辨识, 且辨识结果比较稳定; 而有些参数则难以辨识, 且辨识结果具有离散性, 有时甚至相差数十倍。造成这种现象的原因可能主要有:

1) 参数不是唯一可辨识的, 即根据输入-输出动态数据, 存在多组甚至无穷多组参数满足同样的输入-输出响应。遗憾的是, 这方面的研究还很不够^[4]。实际上, 这是参数辨识的重要理论和应用问题, 也是参数辨识的重要前提条件。

2) 参数灵敏度大小, 实际上也就是参数对于系统动态的影响大小。如果系统动态对某个参数很灵敏, 则根据系统动态就比较容易准确确定该参数。反之, 如果系统动态对某个参数不灵敏, 则根据系统动态就很难准确确定该参数。文献[5-19]研究了参数灵敏度的计算和影响, 文献[20]将轨迹灵敏度应用于负荷模型的参数辨识。

3) 电力系统干扰下动态信号的有效性, 即实际测量获得的动态数据是否充分反映了系统中的所有动态模式。根据系统辨识理论^[3], 如果动态信号的功率频谱不能够覆盖待辨识对象的频谱宽度, 就不能够有效辨识模型参数。

以往有关电力系统参数可辨识性的研究都是基于解析方法的, 大都将模型线性化, 然后进行参数可辨识性分析, 最后再在非线性系统进行仿真验证。解析方法能够获得清晰的结果, 但对于高阶动态方程, 则很难进行, 尤其是大规模电力系统的参数辨识, 几乎是不可能的。另一方面, 以往有关参数灵敏度的研究, 都是根据参数灵敏度来分析参数辨识的难易程度。而有关灵敏度与可辨识性之间的关系并不清楚。

本文发现电力系统参数的可辨识性与灵敏度之间是有内在联系的, 提出先根据灵敏度的相位来判断参数的可辨识性, 再根据灵敏度的大小来选择可辨识的重点参数, 最后采用蚁群算法优化重点参数。算例结果验证上述方法是有效的。

1 轨迹灵敏度计算

轨迹灵敏度是指系统中参数发生微小变化时系统动态轨迹的变化程度, 能反映系统轨迹与参数的相互关系。轨迹灵敏度直接针对非线性系统模型, 是轨迹关于参数的导数, 通常轨迹灵敏度随轨迹的变化而变化, 其本身也是时变的轨迹。

电力系统的动态特性可以采用如下微分-代数方程组描述:

$$\begin{cases} \frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{F}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \boldsymbol{\theta}) \\ \mathbf{0} = \mathbf{G}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \boldsymbol{\theta}) \\ \mathbf{X}(t_0) = \mathbf{X}_0 \\ \mathbf{Y}(t_0) = \mathbf{Y}_0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: \mathbf{X} 为状态向量; \mathbf{Y} 为代数向量; $\boldsymbol{\theta}$ 为系统参数向量。

轨迹灵敏度是状态变量或者输出变量的轨迹改变量对参数改变量的比值, 定义为:

收稿日期: 2008-07-30; 修回日期: 2008-12-14。

国家杰出青年科学基金资助项目(50725723); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2004CB217901)。

$$\frac{\partial y_i(\boldsymbol{\theta}, k)}{\partial \theta_j} = \lim_{\Delta \theta_j \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta \theta_j} (y_i(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j + \Delta \theta_j, \dots, \theta_m, k) - y_i(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j, \dots, \theta_m, k)) \quad (2)$$

式中: y_i 为系统中第 i 个变量的轨迹; θ_j 为系统中第 j 个参数; m 为参数总数; k 为时间采样点。

计算电力系统轨迹灵敏度的方法有多种, 对于大规模电力系统来说, 由于系统复杂、方程阶次高, 因而采用数值差分方法。为了提高数值计算精度, 可以采用中值法计算导数, 即分 2 次计算轨迹: $y_i(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j + \Delta \theta_j, \dots, \theta_m, k)$, $y_i(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j - \Delta \theta_j, \dots, \theta_m, k)$, 然后, 计算轨迹灵敏度(相对值)为:

$$\frac{\partial \left(\frac{y_i(\boldsymbol{\theta}, k)}{y_{i0}} \right)}{\partial \left(\frac{\theta_j}{\theta_{j0}} \right)} = \frac{\theta_{j0}}{2y_{i0}\Delta \theta_j} (y_i(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j + \Delta \theta_j, \dots, \theta_m, k) - y_i(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j - \Delta \theta_j, \dots, \theta_m, k)) \quad (3)$$

式中: θ_{j0} 为参数 θ_j 的给定值; y_{i0} 为 θ_{j0} 对应的稳态值。

为了比较各灵敏度的大小, 计算轨迹灵敏度的绝对值的平均值:

$$S_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left| \frac{\partial \left(\frac{y_i(\boldsymbol{\theta}, k)}{y_{i0}} \right)}{\partial \left(\frac{\theta_j}{\theta_{j0}} \right)} \right| \quad (4)$$

式中: K 为轨迹灵敏度总点数, 即时间长度除以时间步长。

轨迹灵敏度计算的时间长度根据系统实际情况确定, 对于小规模系统一般在 5 s 左右, 对于大规模系统一般在 10 s 左右。

如果轨迹 y_i 对参数 θ_j 比较灵敏, 即相应的轨迹灵敏度比较大, 则根据 y_i 就比较容易辨识参数 θ_j ; 相反, 如果参数 θ_j 对测量的所有系统轨迹几乎没有影响, 则该参数就不容易辨识。

2 特征根灵敏度计算

在电力系统运行中, 往往需要分析某些参数对系统动态特性的影响。特征根是系统动态特性的一个重要表征, 特征根分析法是多机电力系统最有效的动态分析方法之一, 可得到大量有价值的信息, 例如特征根、特征向量、特征根与状态变量的相关因子等。

多机电力系统的 n 维线性化状态方程为:

$$\frac{d\Delta \mathbf{X}}{dt} = \mathbf{A} \Delta \mathbf{X} \quad (5)$$

式中: $\Delta \mathbf{X}$ 为系统增量形式的状态向量; \mathbf{A} 为系统的系数矩阵。

由常微分方程的稳定性理论可知, 系统相应的

特征方程式为:

$$|\lambda \mathbf{I} - \mathbf{A}| = 0 \quad (6)$$

式中: \mathbf{I} 为与 \mathbf{A} 维数相同的单位矩阵。

由此可得特征根 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 。

系统状态矩阵 \mathbf{A} 是系统中参数 $\boldsymbol{\theta}$ 的函数, 写为 $\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})$ 。则 \mathbf{A} 的任一特征根 λ_i 也是参数 $\boldsymbol{\theta}$ 的函数, 写为 $\lambda_i(\boldsymbol{\theta})$ 。当改变参数时, $\lambda_i(\boldsymbol{\theta})$ 将发生相应的变化, $\lambda_i(\boldsymbol{\theta})$ 的变化即反映了参数的变化对系统动态的影响。

特征根 λ_i 对参数 θ_j 的灵敏度写为 $\partial \lambda_i(\boldsymbol{\theta}) / \partial \theta_j$, 计算步骤如下:

1) 置 $\boldsymbol{\theta} = \boldsymbol{\theta}_{(0)}$, 形成状态矩阵 $\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta}_{(0)})$;

2) 计算 $\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta}_{(0)})$ 的特征根 λ_i 和相应的左、右特征向量 \mathbf{v}_i^T 和 \mathbf{u}_i , 且 $\mathbf{v}_i^T \mathbf{u}_i = 1$;

3) 计算 $\left. \frac{\partial \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})}{\partial \boldsymbol{\theta}} \right|_{\boldsymbol{\theta} = \boldsymbol{\theta}_{(0)}}$;

4) 计算 $\frac{\partial \lambda_i}{\partial \theta_j} = \mathbf{v}_i^T \frac{\partial \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})}{\partial \theta_j} \mathbf{u}_i$ 。

$\partial \lambda_i / \partial \theta_j$ 是一个复数, 它反映了系统参数 θ_j 微小变化时, λ_i 的移动方向(相位)和大小, 从而为系统分析提供有价值的信息。

需要说明的是, 特征根可以判断系统的稳定性、系统振荡的衰减快慢等, 能够反映系统动态的内在特性。所以特征根灵敏度能够反映参数对特征根的影响, 也就反映了参数对系统动态内在特征的影响。而轨迹则是系统动态的外在表现, 所以轨迹灵敏度主要反映参数对系统动态外在表现的影响。因此, 对于参数的轨迹灵敏度与特征根灵敏度是互相补充的, 同时计算这 2 种灵敏度可以综合判断参数对系统动态的内在和外在影响。

3 可辨识性与灵敏度的关系

参数的可辨识性是指根据广域测量系统(WAMS)测量的动态数据能否唯一辨识某个参数。近年来, 可辨识性方面开展了一些研究工作, 但存在 2 个问题: ①都是采用解析方法, 比如基于传递函数的方法等; ②研究对象都只针对单个节点(比如负荷)或者单个元件(比如发电机)。但对于大规模电力系统来说, 试图采用解析方法来分析参数的可辨识性, 由于阶次太高, 所以难以进行。

一般来说, 参数不可唯一辨识意味着某些参数之间满足一种未知的关系, 比如:

$$\theta_{j1} = \eta(\theta_{j2}) \quad (7)$$

则参数的轨迹灵敏度之间满足:

$$\frac{\partial y_i(\boldsymbol{\theta}, k)}{\partial \theta_{j2}} = \frac{\partial y_i(\boldsymbol{\theta}, k)}{\partial \theta_{j1}} \frac{\partial \eta}{\partial \theta_{j2}} = C \frac{\partial y_i(\boldsymbol{\theta}, k)}{\partial \theta_{j1}} \quad (8)$$

式中: $C = \partial \eta / \partial \theta_{j_2}$, 为一正或负实数。

上述公式表明, 这些参数的轨迹灵敏度曲线同时达到零点。如果轨迹灵敏度是振荡曲线的话, 则振荡过程看上去会同相或者反相振荡。

另一方面, 参数的特征根灵敏度之间满足:

$$\frac{\partial \lambda_i(\boldsymbol{\theta})}{\partial \theta_{j_2}} = \frac{\partial \lambda_i(\boldsymbol{\theta})}{\partial \theta_{j_1}} \frac{\partial \eta}{\partial \theta_{j_2}} = C \frac{\partial \lambda_i(\boldsymbol{\theta})}{\partial \theta_{j_1}} \quad (9)$$

注意到特征根灵敏度 $\partial \lambda_i(\boldsymbol{\theta}) / \partial \theta_{j_1}$ 为复数, C 为一正或负实数。式(9)表明, 这些参数的特征根灵敏度的相位同相或者反相。

综上所述, 根据灵敏度的相位可以确定参数的可辨识性, 即同相或者反相的参数可能是不唯一可辨识的, 如果所有参数的灵敏度都不同相或者反相, 则所有参数就是唯一可辨识的。

需要说明的是, 无论式(7)是线性或者非线性关系, C 都是实数而且是恒定的, 只要不是 0, 就不影响前面的结论。

4 参数辨识

对于广域电力系统模型的参数辨识, 基本步骤如下:

- 1) 根据参数灵敏度的相位关系可以确定参数的可辨识性;
- 2) 根据参数灵敏度的幅值大小可以确定参数辨识的难易程度, 由此可以确定重点参数;
- 3) 建立衡量系统建模的误差指标;
- 4) 采用蚁群算法优化重点参数, 使误差指标达到最小。

在电力系统参数辨识中, 参数是在连续空间内分布的。蚁群算法应用于此类连续空间内的参数辨识问题时, 基本步骤如下:

- 1) 将蚁群在解空间内按照一定方式进行初始分布。一般推荐的蚁群规模为 N^m 个, m 为同时需辨识参数的个数, N 为在每一维空间上的等分数。
- 2) 根据蚁群所处解空间位置的优劣, 决定当前蚁群的信息量分布。经过步骤 1 就已经把待辨识的参数分成了 N^m 组, 一只单蚁就代表一组参数, 这样就可以把每组参数代入电力系统模型的微分方程组中, 求解此微分方程组, 计算出电力系统轨迹, 把这些计算轨迹与测得的轨迹相比较, 得到目标函数。这样, 每一组参数就对应一个误差值, 误差值越小, 说明此组参数越接近于真值。现在就是要使蚁群向真值所在位置的方向移动。为此, 为各单蚁定义一个与其当前所处解空间位置针对参数辨识正确性的优劣相关的信息量分布函数。
- 3) 求出各轴子区间内应有的蚁数分布。首先将

当前蚁群散布的信息量分布函数总和在各轴子区间内进行积分, 根据此积分值占整个问题空间内的总积分值的比例和当前的蚁群规模决定各轴子区间内应有的蚁群数量。

4) 根据各子区间内应有蚁群分布状况和当前蚁群分布状况之间的差别, 决定蚁群的移动方向, 并改变该组蚁群的坐标值。在蚁群做完一次整体移动之后, 又可回到步骤 2。

如此循环往复, 直到最优解的产生。

5 算例

5.1 算例系统

本文采用 IEEE 9 节点系统作为研究对象, 如图 1 所示。作为示例, 研究该系统中的负荷模型参数, 实际上对于发电机参数、线路参数等均适用。母线 5 负荷模型采用感应电动机综合负荷模型, 感应电动机采用具有典型参数的 3 阶机电暂态模型, 参数包括感应电动机比例 P_{MP} 、定子电抗 X_s 、负载率 K_L 、暂态电抗 X' 和稳态电抗 X 等。

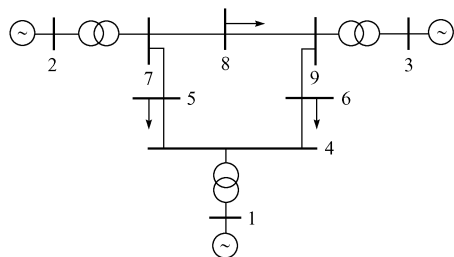


图 1 IEEE 9 节点系统
Fig. 1 IEEE 9-bus system

以 2 号与 3 号发电机之间的相对功角作为轨迹变量。系统扰动为: 节点 7 与节点 8 之间线路的中点发生瞬时性三相短路故障, 0.06 s 之后消失。

5.2 灵敏度与可辨识性

按照式(3), 在不同的参数下利用 PSD-BPA 软件仿真计算得到发电机相对功角的轨迹, 发电机相对功角的轨迹变化量与负荷参数的变化量的比值即是负荷参数的轨迹灵敏度, 各负荷参数的轨迹灵敏度曲线如图 2 所示。由图 2(a)可见, 参数 P_{MP} , X_s 和 K_L 的轨迹灵敏度相位不同, 参数灵敏度的轨迹特性不同; 而由图 2(b)可见, X 和 X' 的轨迹灵敏度则同相位。这表明, 参数 P_{MP} , K_L 和 X_s 是唯一可辨识的; 而 X 和 X' 就可能不是唯一可辨识的。

按照第 2 节所述方法计算特征根灵敏度, 结果如表 1 所示。可以看出, 参数 X 和 X' 的特征根灵敏度的幅值不同, 但是对应特征根灵敏度的相角均相同, 所以这 2 个参数就可能不是唯一可辨识的。而其余参数的特征根灵敏度的相位则不同相或者反

相,所以是唯一可辨识的。

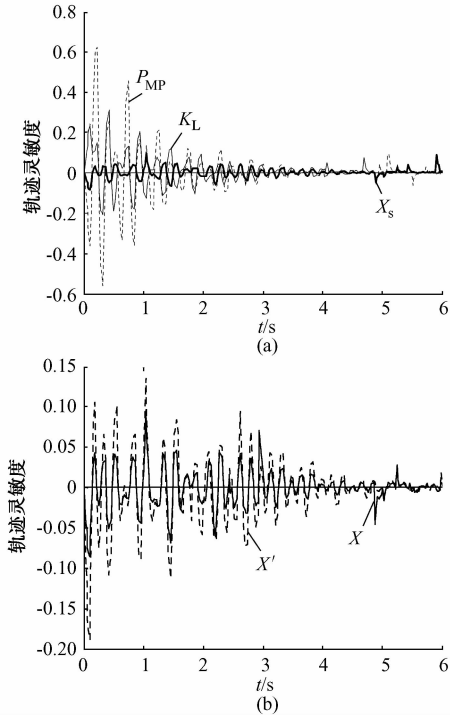


图2 负荷模型参数轨迹灵敏度曲线

Fig.2 Trajectory sensitivity of load parameters

表1 特征根灵敏度
Table 1 Eigenvalue sensitivities

参数	$\lambda_{1,2}$ 灵敏度		$\lambda_{3,4}$ 灵敏度		$\lambda_{5,6}$ 灵敏度	
	幅值	相角	幅值	相角	幅值	相角
P_{MP}	8.419 7	25.869 3	0.039 5	-8.339 6	0.263 5	-1.881 2
K_L	139.389 5	-18.854 6	0.491 8	7.536 9	0.578 1	-67.924 1
X'	679.866 1	-70.916 4	0.427 2	-32.601 4	5.080 2	66.094 7
X_s	775.816 0	-74.457 5	0.393 9	-54.970 8	5.756 3	67.851 2
X	44.352 6	-70.852 9	0.027 9	-32.601 0	0.331 0	66.121 5

可见,基于轨迹灵敏度与特征根灵敏度计算所得的可辨识性结果是一致的。实际上,这个结果与文献[4]中采用解析方法所得结果也是完全一致的。

5.3 重点参数辨识结果

上面分析了可辨识性,下面再分析重点参数。表2所列参数轨迹灵敏度绝对值平均值中最大的5个,依次为 P_{MP} , K_L , X' , X_s 和 X 。其中, X' 和 X 不是唯一可辨识的,所以选择 P_{MP} , K_L , X_s 作为重点参数,其他参数直接采用其典型值代替。这样,既保证了模型参数的可辨识性,又提高了辨识速度。

表2 轨迹灵敏度
Table 2 Trajectory sensitivities

参数	P_{MP}	K_L	X'	X_s	X
平均值	0.082 2	0.048 0	0.036 4	0.029 4	0.020 7

采用蚁群算法,优化上述参数,结果列于表3。

可见,辨识参数误差小于6%,验证了本文思路的可行性。

表3 参数辨识结果
Table 3 Identified parameters

参数	准确值	辨识值	误差/(%)
P_{MP}	0.600 0	0.611 3	1.880
X_s	0.500 0	0.478 7	-4.260
K_L	0.180 0	0.190 3	5.720

6 结语

本文通过计算轨迹灵敏度和特征根灵敏度,提出根据灵敏度大小判别参数辨识的难易,而根据灵敏度的相位来判断参数的可辨识性。算例结果表明,2种参数灵敏度分析结果一致,而且与以往的解析方法所得结果相同,证明了参数的可辨识性可以通过参数灵敏度来分析,为电力系统参数可辨识性分析提供了新的途径。

参考文献

[1] IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance. Standard load models for power flow and dynamic performance simulation. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(3): 1302-1313.

[2] KUNDUR P. Power system stability and control. New York, NY, USA: McGraw-Hill Inc, 1994: 35-40.

[3] 沈善德. 电力系统辨识. 北京:清华大学出版社,1988.

[4] 鞠平. 电力系统非线性辨识. 南京:河海大学出版社,1999.

[5] 章健,张红斌,贺仁睦. 感应电动机负荷模型参数灵敏度分析及参数易辨识性的研究. 继电器,2000,28(9):15-17. ZHANG Jian, ZHANG Hongbin, HE Renmu. Parameter sensitivity analysis and identification strategy of induction motor load model. Relay, 2000, 28(9): 15-17.

[6] 张红斌,贺仁睦,刘应梅. 感应电动机模型参数解析灵敏度分析及参数辨识策略研究. 电网技术,2004,28(6):10-14. ZHANG Hongbin, HE Renmu, LIU Yingmei. Analysis on parameter analytic sensitivity of induction motor load model and parameter identification strategy. Power System Technology, 2004, 28(6): 10-14.

[7] 刘洪波,穆钢,严干贵,等. 根据量测轨迹计算轨迹灵敏度的卷积法. 电力系统自动化,2007,31(5):13-17. LIU Hongbo, MU Gang, YAN Gangui, et al. A convolution method for calculating the trajectory sensitivity based on measured trajectory. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(5): 13-17.

[8] 马进,王景钢,贺仁睦. 电力系统动态仿真的灵敏度分析. 电力系统自动化,2005,29(17):20-27. MA Jin, WANG Jinggang, HE Renmu. Sensitivity analysis of power system dynamic simulation. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(17): 20-27.

[9] 孙元章,杨新林. 电力系统动态灵敏度计算的伴随方程方法. 电力系统自动化,2003,27(3):6-12. SUN Yuanzhang, YANG Xinlin. Adjoint equation methods for

- dynamic sensitivity calculation in power systems. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(3): 6-12.
- [10] 孙景强,房大中,周保荣. 基于轨迹灵敏度的电力系统动态安全防护控制算法研究. 电网技术, 2004, 28(21): 26-30.
SUN Jingqiang, FANG Dazhong, ZHOU Baorong. Study on preventive control algorithm for dynamic security of power systems based on trajectory sensitivity method. Power System Technology, 2004, 28(21): 26-30.
- [11] 周保荣,房大中,孙景强. 基于轨迹灵敏度分析的电力系统稳定器参数优化设计. 电网技术, 2004, 28(19): 79-84.
ZHOU Baorong, FANG Dazhong, SUN Jingqiang. Tuning of PSS parameters using optimization approach based on trajectory sensitivity analysis. Power System Technology, 2004, 28(19): 79-84.
- [12] 苗峰显,郭志忠. 灵敏度方法在电力系统分析与控制中的应用综述. 继电器, 2007, 35(15): 72-76.
MIAO Fengxian, GUO Zhizhong. A survey of sensitivity technique and its application in power systems analysis and control. Relay, 2007, 35(15): 72-76.
- [13] 周鲲鹏,陈允平. 运用轨迹灵敏度的电力系统动态安全控制. 电网技术, 2003, 27(12): 46-50.
ZHOU Kunpeng, CHEN Yunping. Power system dynamic security control based on trajectory sensitivity. Power System Technology, 2003, 27(12): 46-50.
- [14] 常乃超,兰洲,甘德强,等. 广域测量系统在电力系统分析及控制中的应用综述. 电网技术, 2005, 29(10): 48-52.
CHANG Naichao, LAN Zhou, GAN Deqiang, et al. A survey on applications of wide-area measurement system in power system analysis and control. Power System Technology, 2005, 29(10): 48-52.
- [15] 王锡凡,方万良,杜正春. 现代电力系统分析. 北京: 科学出版社, 2003.
- [16] 钟志勇,王克文,谢志棠. 用特征根灵敏度分析进行静态无功补偿器的设计. 电力系统自动化, 1999, 23(14): 9-14.
CHUNG C Y, WANG K W, TSE C T. Static VAR compensator design based on eigenvalue sensitivity analysis. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(14): 9-14.
- [17] SMED T. Feasible eigenvalue sensitivity for large power systems. IEEE Trans on Power Systems, 1993, 8(2): 555-563.
- [18] NAM H K, KIM Y K. A new eigen-sensitivity theory of augmented matrix and its applications to power system stability. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(1): 363-369.
- [19] WANG K W, CHUNG C Y. Multimachine eigenvalue sensitivities of power system parameters. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(2): 741-747.
- [20] GUAN X, SUN Y, CHENG L. A load parameter identification method based on wide area measurement// Proceedings of the 8th International Power Engineering Conference, December 3-6, 2007, Singapore: 431-436.

谢会玲(1978—),女,博士研究生,主要研究方向:电力系统建模. E-mail: xiehuiling@hhu.edu.cn

鞠平(1962—),男,通信作者,博士,教授,博士生导师,副校长,主要研究方向:电力系统建模与控制. E-mail: pju@hhu.edu.cn

罗建裕(1965—),男,教授级高级工程师,主要研究方向:电力系统运行分析与控制. E-mail: jyluo@jsepc.gov.cn

Identifiability Analysis of Load Parameters Based on Sensitivity Calculation

XIE Huiling¹, JU Ping¹, LUO Jianyu², NING Yan¹, ZHU Huan², WANG Xiaoying²

(1. Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Jiangsu Electric Power Dispatching and Communication Center, Nanjing 210024, China)

Abstract: The identifiability problems of a simple power system can be solved by analytical approaches. But for large-scale power systems, it is very difficult. The relationship between the parameter identifiability and sensitivity is revealed, and the method is proposed, in which the parameter identifiability is judged by the phase angles of the sensitivities, and the key identifiable parameters are selected according to the magnitudes of the sensitivities. Finally the key identifiable parameters are optimized with ant colony algorithm. An example validates the feasibility of the above method.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China for National Outstanding Young Investigator (No. 50725723) and Special Fund of the National Basic Research Program of China (No. 2004CB217901).

Key words: power system modeling; parameter identifiability; trajectory sensitivity; eigenvalue sensitivity

本刊原则上不受理电子邮件投稿或纸质稿件,请直接登录 www.aeps-info.com,经作者注册后投稿,并可由此查询稿件处理状态。