

应用界标分界法的电力系统动态仿真准确度评估

周成, 贺仁睦

(电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室(华北电力大学), 北京市 昌平区 102206)

Accuracy Assessment of Power System Dynamic Simulation Based on Landmark Method

ZHOU Cheng, HE Ren-mu

(Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control (North China Electric Power University), Ministry of Education, Changping District, Beijing 102206, China)

ABSTRACT: Dynamic simulation has been widely used in power system analysis, becoming a very important tool to system design and operation, and the accuracy of dynamic simulation can determine directly the security and economic efficiency of power system operation. Concerning the shortcomings of present methods evaluating the accuracy of simulation, a novel evaluation method based on both landmark method and direct distance method is presented in this paper, which has two evaluating indexes, i.e. shape similarity and numerical value similarity, and is capable of dealing with the problem of evaluation distortion by means of shape similarity with the help of normative coefficient method under noisy condition. Evaluation result with this method is helpful to model modification. Analysis based on measurement data of big disturbance test occurring in a certain power grid of China in 2004 and the posterior simulation results by different load models is presented, which proves the efficiency of this method.

KEY WORDS: dynamic simulation; power system; landmark method; numerical value similarity; shape similarity

摘要: 动态仿真在电力系统分析方面已得到了广泛的应用, 成为系统设计、运行不可缺少的工具; 仿真的准确度直接决定了系统运行的安全性和经济性。针对现有仿真准确度评估方法的不足, 综合了界标分界法与直接距离法, 提出了基于形状相似度和数值相似度 2 个指标的电力系统仿真准确度的评估方法。该方法克服了在噪声干扰情况下应用规范系数法求解形状相似度时评估结果失真的问题, 其评估结果可为使用人员进行模型修正提供参考依据。结合 2004 年某地区大扰动试验的实测数据及使用不同负荷模型进行后验仿真

的计算结果, 进行了算例分析, 验证了该评估方法的可行性。

关键词: 动态仿真; 电力系统; 界标分界法; 数值相似度; 形状相似度

0 引言

动态仿真在电力系统运行中扮演了越来越重要的角色。系统运行方式的安排需要以动态仿真结果为指导, 一些设备参数也需要根据仿真结果来进行整定。仿真结果的可信度直接决定了系统运行的安全性和经济性。1996 年美国西部大停电事故后仿真发现, 使用当时已有的仿真数据库进行后验仿真不仅不能重现系统失稳, 还得到了乐观的结果^[1]; 2007 年西北电网公司利用大扰动试验证实了基于实测的励磁模型参数能显著提高仿真的准确度, 并以此提高了输送断面的功率极限。可见提高电力系统仿真可信度对于实行电网节能调度、确保电网安全可靠运行具有深远的意义。由于目前大部分仿真都属于先验仿真, 无法对仿真结果直接进行评估, 先验仿真的可信度只能依赖于后验仿真准确度的提高而提高, 即只有通过大量的后验仿真与实测数据来修正仿真模型的结构与参数, 提高后验仿真的准确度, 才能保证先验仿真的可信度。目前国内外已经开展了大量的模型验证工作, 即通过后验仿真来修正模型参数的工作^[2-7]。

提高先验仿真可信度的首要工作是进行后验仿真准确度的计算。电力系统仿真准确度评估的本质是衡量实测曲线与仿真曲线的相似度。最初的准确度评估方法是通过目测法主观给定, 目前已有了一些定量评估的方法。文献[8-9]将一些能表征曲线的特征量作为相似元, 再利用相似原理判断实测曲线与仿真曲线的相似程度。文献[10]利用各种频谱

基金项目: 国家自然科学基金项目(50595410); 国家重点基础研究专项经费项目(2004CB217901)。

Project Supported by National Natural Science Foundation of China (50595410); Special Fund of the National Priority Basic Research of China(2004CB217901).

估计方法分析实测序列与仿真序列在频域上的差别。文献[11]通过 Prony 变换来提取曲线各分量的频率、阻尼、能量、相位等特征，直接比较实测曲线和仿真曲线在这些特征上的差异来评估仿真准确度，由于 Prony 方法不适用于分析强非线性曲线，而系统在开关操作时却表现为强非线性，因此该方法的应用具有一定局限性。文献[12]利用规范系数法对单个模型进行准确度评估，由于实测数据有一些微小噪声扰动，使用规范系数法评估曲线形状相似度时容易产生计算误差，影响了评估结果。对于系统的仿真准确度评估而言，由于表征节点的物理量除有功、无功以外，还有电压幅值及相角，因此评估仿真准确度时应综合考虑节点的这 4 种物理量。本文利用界标分界法能去除微小噪声的优点，提出一种评估系统仿真准确度的新方法，从曲线数值与曲线形状 2 方面对仿真结果进行评估。

1 时间序列相似度计算

1.1 曲线数值相似度

曲线数值相似度利用曲线之间的距离来衡量曲线的相似性。对于实测序列 $\mathbf{X}=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 与仿真结果序列 $\mathbf{Y}=(y_1, y_2, \dots, y_n)$ ，可以将其视为 n 维空间中的 2 个点，记 2 个点的距离为 $D(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ 。 $D(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ 的大小直接反映了曲线间的相似程度。通常采用的距离计算公式有：

曼哈坦距离

$$D(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (1)$$

欧氏距离

$$D(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

明可夫斯基距离

$$D(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^q \right]^{1/q} \quad (3)$$

直接距离法的优点是方法简单、计算方便，但在比较曲线时忽略了平行漂移、噪声等因素。该方法用于比较以“变化趋势”为关注点的时间序列时存在本质的缺陷，因为点距离是一种静态的度量，无法有效体现时间序列的动态特性。评估仿真结果时仍需要考虑数值误差，同时为方便与后面的形状相似度合成，本文采用相对误差的均值来表示曲线的数值距离，如式(4)所示。这样就克服了文献[12]所用距离公式只反映曲线局部误差的缺点。

$$D(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - y_i|}{|x_i|} \quad (4)$$

则曲线的数值相似度可定义为

$$S_D(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = [1 - D(\mathbf{X}, \mathbf{Y})] \times 100\% \quad (5)$$

1.2 曲线形状相似度

曲线形状相似度评估在计算机数据挖掘，特别是模式匹配方面应用较广。已有的方法包括时间弯曲模型法^[13]、规范系数法^[14]等。界标分界法是目前评估时间序列形状相似度的一个快速有效的方法^[15-16]。一个曲线的形态特征主要由它的拐点即局部极值点来描述，称这些拐点为曲线的界标，利用界标可以重新画出与原曲线极其相似的图形，因此通过 2 个序列的界标来评估这 2 个序列的形状相似度，这就是界标分界法的基本思想。本文详细介绍使用界标分界法进行 2 序列形状相似度评估的过程。首先为消除序列比较时数值差异所造成的影响，对序列先进行规范化处理，即

$$\bar{x}_i = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (6)$$

式中： x_i 为序列 \mathbf{X} 中的第 i 个序列元素； x_{\max} 、 x_{\min} 分别为序列 \mathbf{X} 中的最大、最小元素； \bar{x}_i 为变换后的序列 $\bar{\mathbf{X}}$ 的元素值，它属于 $[0,1]$ 区间。将时间序列 $\bar{\mathbf{X}}$ 中的数值进行相减计算可以得到新的序列 \mathbf{Y} ，即

$$y_i = |\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i| \quad (7)$$

式中 \bar{x}_{i+1} 、 \bar{x}_i 分别为时间序列 $\bar{\mathbf{X}}$ 中的第 $i+1$ 个与第 i 个元素。

将时间序列 \mathbf{Y} 中的前一个数值与后一个数值相乘可得到一个新的时间序列 \mathbf{Z} ，即

$$z_i = y_i y_{i+1} \quad (8)$$

确定时间序列 \mathbf{Z} 中负数的索引位置，将得到的索引值加 1 后作为新的索引值，则 $\bar{\mathbf{X}}$ 与之相对应的值即为局部极值。对于时间序列 $\bar{\mathbf{X}}$ 中增幅小于 ε 且时间差值小于 ζ 的极值点，可以将其忽略，则剩下的点为序列 $\bar{\mathbf{X}}$ 的界标集合。 ε 、 ζ 的值由序列中需要滤除的噪声决定。

确定时间序列 \mathbf{Z} 中出现连续 0 值元素的位置，且如果为 0 的子段所对应的时间长度大于 ζ 时，则纪录出现 0 的起始索引位置，与该索引对应的序列 $\bar{\mathbf{X}}$ 中的值也应为界标，故将该点也加入界标集合。如果 $\bar{\mathbf{X}}$ 共有 n 个界标，则可以将 $\bar{\mathbf{X}}$ 分成 $n+1$ 个子段，每个子段内的值都是单调的，定义每一个子段的斜率为

$$k_i = (\bar{x}_{(j+1)} - \bar{x}_{(j)}) / \Delta t \quad (9)$$

式中： $\bar{x}_{(j)}$ 为序列 $\bar{\mathbf{X}}$ 的第 j 个界标； Δt 为第 j 个界

标与第 $j+1$ 个界标之间的时间长度。这样根据界标序列及每个子段的斜率就可以刻画出曲线的变化情况。

如果2个时间序列 \mathbf{X}_m 、 \mathbf{X}_s 分别规范化后,经过界标分割相对应子段 $\bar{\mathbf{X}}_m(i)$ 、 $\bar{\mathbf{X}}_s(i)$ 的斜率差在阈值范围之内,则称2个子段相似。因此可以利用相似子段的长度与序列长度的比值作为序列形状相似性的度量,即

$$f(\mathbf{X}_m, \mathbf{X}_s) = \frac{\sum_{i=1}^n [L(\bar{\mathbf{X}}_m(i)) + L(\bar{\mathbf{X}}_s(i))]}{L(\mathbf{X}_m) + L(\mathbf{X}_s)} \times 100\% \quad (10)$$

式中:函数 $L(\cdot)$ 表示求取长度; n 为相似子序列的个数。该方法能消除部分噪声对形状相似度的影响,能有效比较2条曲线的形状相似性。

2 电力系统动态仿真准确度评估

相量测量单元(phasor measurement unit, PMU)为电力系统提供了一个统一时标,能同步记录下扰动时系统各点的运行状态,为进行动态仿真的准确度评估提供了参考值^[17-18]。一个电力系统通常有上万个节点,评估时考虑每个节点的仿真准确度是不现实的。根据电力系统自身的特点,枢纽变电站与主力电厂可以充分表征系统的运行状态,因此评估系统动态仿真准确度时,只需考核这些枢纽变电站节点与主力发电厂节点的仿真准确度即可。

表征节点状态的物理量包括节点电压幅值与相角、与节点相连线路的有功及无功功率,这些量的实测数据与动态仿真的结果均为时间序列。因此进行系统仿真准确度评估时既要从曲线数值与曲线形状方面进行评估,也要综合考虑上述物理量。根据这2点本文提出一种新的评估方法,即

$$V_{cu} = \sum_{j=1}^4 \beta_j V_{er}(\mathbf{X}_j, \mathbf{Y}_j) \quad (11)$$

式中 V_{cu} 为关键节点总体的仿真准确度评估结果;权重系数 β_j 表示了各个物理量的仿真准确度对整体评估的影响程度;矢量 \mathbf{X}_j ($j=1\sim 4$)分别代表了关键节点的实测有功、无功、电压、相角值;矢量 \mathbf{Y}_j ($j=1\sim 4$)为仿真结果的相应量,这样在评估仿真准确度时就能综合考虑关键节点的所有信息; $V_{er}(\mathbf{X}_j, \mathbf{Y}_j)$ 为针对每个物理量的仿真准确度评估结果,其表达式为

$$V_{er}(\mathbf{X}_j, \mathbf{Y}_j) = \alpha V_{erD}(\mathbf{X}_j, \mathbf{Y}_j) + (1-\alpha)f(\mathbf{X}_j, \mathbf{Y}_j) \quad (12)$$

式中 $V_{erD}(\mathbf{X}_j, \mathbf{Y}_j)$ 为2序列的数值相似度,采用式(5)计算,为突出暂态部分数值误差的影响,计算数值

相似度时不考虑初始稳态部分; $f(\mathbf{X}_j, \mathbf{Y}_j)$ 为2序列的形状相似度,采用式(10)计算;参数 α 代表了数值相似度在准确度评估中的权重,由应用人员凭对曲线数值与曲线形状的关注程度来确定其取值, $\alpha \in [0,1]$,通常 α 的取值为0.3~0.5。

由于分析人员在分析电力系统动态仿真结果时对每个关键节点的各个物理量关注程度不同,例如对于发电机节点,出于功角稳定的原因,可能更关心母线的电压与相角,对于负荷节点,可能更关心母线的有功、无功功率,因此不能将各个物理量的计算结果简单叠加。为合理体现节点每个物理量的仿真准确度对整体评估的影响,本文采用层次分析法来合理设置每个物理量计算结果的权重系数,该方法的详细步骤可以参见文献[12]。

3 算例分析

为验证该仿真准确度评估模型的有效性,本文结合某电网进行的大扰动试验数据进行分析。2004年3月25日在某电网的500kV线路上进行人工三相短路试验,利用各站的PMU纪录了试验的动态过程。事后进行了模拟故障的仿真分析,仿真软件采用了中国电力科学研究院开发的电力系统综合程序PSASP6.25,负荷模型分别使用考虑时变性的综合负荷模型(time variant adaptive, TVA)^[19]、考虑配电网支路与无功补偿的负荷模型(synthetic load model, SLM)^[20-21]及电动机并联恒阻抗模型(简称295模型)。图1~3分别为电网中董家变电站500kV母线电压、有功及无功的实测值及使用不同负荷模型进行仿真的计算结果。由于董家变属于负荷节点类型,可以假设更关注节点的有功和无功量,电压量次之,因此判断矩阵 \mathbf{B} 取值为

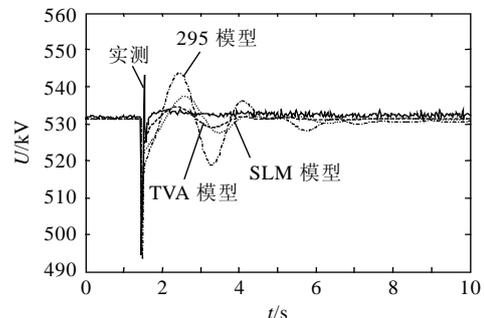


图1 某电网扰动试验董家变电压实测值及使用不同负荷模型仿真的电压计算结果

Fig. 1 Measured values of voltage at Dongjia substation during disturbance test and those of simulation results with different load models

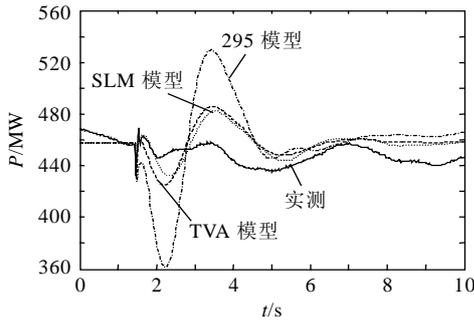


图 2 某电网扰动试验董家变有功实测值及使用不同负荷模型仿真的有功计算结果

Fig. 2 Measured values of active power at Dongjia substation during disturbance test and those of simulation results with different load models

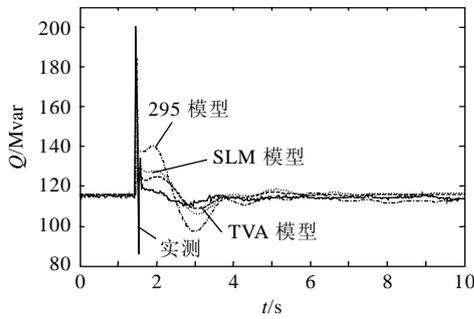


图 3 某电网扰动试验董家变无功实测值及使用不同负荷模型仿真的无功计算结果

Fig. 3 Measured values of reactive power at Dongjia substation during disturbance test and those of simulation results with different load models

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

则有功、无功、电压幅值、相角的权重系数为

$$\beta = [0.3899, 0.3899, 0.1524, 0.0679]$$

判断矩阵 B 的最大特征值 $\lambda_{\max} = 4.043$, B 的一致性指标为

$$R_{CI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.0143$$

查表得到 B 的平均随机一致性指标 $R_{RI}(4) = 0.9$, 即有

$$\delta_{CR} = \frac{R_{CI}}{R_{RI}} = \frac{0.0143}{0.9} = 0.0159 < 0.1$$

因此判断矩阵 B 符合一致性条件。

根据实测值与使用不同负荷模型时的仿真值, 可以计算出各个物理量的数值相似度和形状相似度, 如表 1~3 所示。

若 $\alpha = 0.5$, 根据式(11)、(12)及表 1~3 中的数值可计算出使用 TVA、SLM 及 295 模型仿真时, 仿

表 1 使用 TVA 模型仿真时董家变各物理量相似度的计算结果

Tab. 1 Results of each physical variable's similarity at Dongjia substation when simulating with TVA model %

相似度	有功	无功	电压	相角
数值	96.48	89.33	98.17	81.71
形状	71.06	57.13	63.13	68.51

表 2 使用 SLM 模型仿真时董家变各物理量相似度的计算结果

Tab. 2 Results of each physical variable's similarity at Dongjia substation when simulating with SLM model %

相似度	有功	无功	电压	相角
数值	98.56	88.84	98.05	82.41
形状	68.71	54.06	57.25	58.43

表 3 使用 295 模型仿真时董家变各物理量相似度的计算结果

Tab. 3 Results of each physical variable's similarity at Dongjia substation when simulating with 295 model %

相似度	有功	无功	电压	相角
数值	95.03	85.01	97.15	82.58
形状	63.82	51.92	60.72	61.25

真的准确度分别为 78.65, 77.08 与 74.57。虽然稳态时实测的数据有小波动, 但使用界标分界法进行形状评估时能滤除这些波动, 因此形状相似度的计算结果比规范系数法的高^[12]。从图 2、3 可以看出, 使用 TVA 及 SLM 模型的有功、无功仿真结果要比使用 295 模型更接近实测曲线。比较表 1 和表 2 的 TVA 模型与 SLM 模型的计算结果可以看出, 使用 TVA 模型时有功、相角仿真结果的数值相似度低于 SLM 模型, 但形状相似度高于 SLM 模型; TVA 模型的无功与电压的评估结果都优于 SLM 模型, 但由于在故障的暂态阶段 2 个模型仿真结果都不准确, 最终评估的无功仿真准确度较低。

为分析权值 α 对计算结果的影响, 计算了不同权值 α 下的仿真准确度的评估结果, 参见表 4。可以看出, α 取不同的数值, 将产生不同的准确度评估结果。当评估者偏重曲线形状时, 如 α 取 0.4, 使用 TVA 模型进行仿真的评估结果准确度要高于 SLM 模型; 当评估者更偏重曲线数值时, 如 α 取 0.9, 使用 TVA 模型进行仿真的评估结果准确度要低于 SLM 模型。可见本文提出的准确度评估方法能同时

表 4 不同权值 α 下的仿真准确度计算结果

Tab. 4 Accuracy assessment of simulation results with different weight α %

模型	$\alpha=0.3$	$\alpha=0.4$	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.7$	$\alpha=0.9$
TVA	72.86	75.73	78.65	84.34	90.08
SLM	70.47	73.77	77.08	83.69	90.30
295	68.16	71.36	74.57	80.98	87.40

考虑数值相似度与形状相似度,并结合表征节点的各个物理量对动态仿真进行有效的评估。

由于实测值有微小波动,使用界标分界法时需要人为设定增幅 ε 、时间差值 ξ 进行滤波。这2个参数取值不同时形状相似度结果将有不同, $\xi=0.03$ s时, ε 不同取值下的有功功率曲线的形状相似度计算结果如表5所示。可以看出, ε 取值不同,形状相似度计算结果差别较大,因此需要根据实测数据的噪声大小合理设置滤波参数。

表5 不同 ε 下的有功曲线形状相似度计算结果
Tab. 5 Simulation results of shape similarity for active power waveform with different ε %

模型	$\varepsilon=0.008$	$\varepsilon=0.009$	$\varepsilon=0.010$	$\varepsilon=0.011$	$\varepsilon=0.012$
TVA	28.12	50.46	71.06	75.06	74.68
SLM	26.27	46.31	68.71	72.23	71.46
295	25.45	44.23	63.82	70.13	68.24

4 结论

本文结合界标分界法提出了综合考虑节点电压、相角、有功、无功的系统仿真准确度评估模型,评估时从曲线数值与形状2方面进行分析。以某电网大扰动试验为实际算例进行的评估结果表明:

1) 在评估时,界标分界法能有效滤除稳态时段的噪声,评估结果比规范系数法更合理;

2) 通过合理设置权重系数,可以体现评估者对节点的电压、相角、有功、无功的仿真准确度的重视程度;

3) 对数值相似度与形状相似度的偏重不同,准确度评估的结果也将不同,增幅系数设置不同,形状相似度计算结果也将不同。

参考文献

- [1] Kosterv D N, Taylor C W. Model validation for August 10.1996 WSCC system outage[J]. IEEE Trans. on Power Systems, 1999, 14(3): 967-979.
- [2] Kosterv D N. Hydro turbine-governor model validation in pacific northwest[J]. IEEE Trans. on Power Systems, 2004, 19(2): 1144-1149.
- [3] Huang Z, Guttromson R, Hauer J. Large-scale hybrid dynamic simulation employing field measurements[C]. IEEE Power Engineering Society General Meeting, Denver, USA, 2004.
- [4] 王守相, 郑志杰, 王成山. 不确定条件下电力系统仿真的区间泰勒模型算法[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(7): 46-50. Wang Shouxiang, Zheng Zhijie, Wang Chengshan. Power system simulation under uncertainty based on interval Taylor model arithmetic[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(7): 46-50(in Chinese).
- [5] 邵伟, 徐政. 励磁系统参数整定研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(10): 12-16. Shao Wei, Xu Zheng. Study on parameter setting of excitation systems [J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(10): 12-16(in Chinese).
- [6] 刘觉民, 陈照明. 同步发电机原动机系统调速器仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(8): 132-135. Liu Juemin, Chen Zhaoming. Simulation study of prime mover governor of synchronous generator[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(8): 132-135(in Chinese).
- [7] 韩冬, 马进. 负荷模型不确定性对电力系统动态仿真的影响[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(13): 69-74. Han Dong, Ma Jin. Uncertainty analysis in dynamic characteristics of load model based on probabilistic collocation method[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(13): 69-74(in Chinese).
- [8] 柳世考, 刘兴堂, 张文. 利用相似度对仿真系统可信度进行定量评估[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(2): 143-145. Liu Shikao, Liu Xingtang, Zhang Wen. Fixed quantity evaluation to reliability of simulation[J]. Journal of System Simulation, 2002, 14(2): 143-145(in Chinese).
- [9] 焦鹏, 唐见兵, 查亚兵. 仿真可信度评估中相似度方法的改进及其应用[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(12): 2658-2660. Jiao Peng, Tang Jianbing, Zha Yabing. Amelioration and application of similar degree method for simulation credibility evaluation[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(12): 2658-2660(in Chinese).
- [10] 李鹏波, 谢红卫. 频谱分析方法在仿真可信性研究中的应用[J]. 系统仿真学报, 1998, 10(3): 18-21. Li Pengbo, Xie Hongwei. Application of spectrum analysis in the research of simulation model credibility[J]. Journal of System Simulation, 1998, 10(3): 18-21(in Chinese).
- [11] 高松, 贺仁睦, 马进. 电力系统动态仿真误差评定准则研究[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(4): 6-10. Gao Song, He Renmu, Ma Jin. Error criteria on power system dynamic simulation validation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(4): 6-10(in Chinese).
- [12] 周成, 贺仁睦, 王吉利, 等. 电力系统元件模型仿真准确度评估[J]. 电网技术, 2009, 33(14): 12-15. Zhou Cheng, He Renmu, Wang Jili, et al. Assessment on simulation accuracy of power system component model[J]. Power System Technology, 2009, 33(14): 12-15(in Chinese).
- [13] Berndt D, Clifford J. Using dynamic time warping to find patterns in time series[C]. AAAI-94 Workshop on Knowledge Discovery in Databases(KKD'94), Seattle, Washington, 1994.
- [14] Agrawal R, Imlinski T. A fast algorithm for association rules between sets of item in large database[C]. ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Washington, USA, 1993.
- [15] Peng C, Wang H, Zhang S R, et al. A new model for similarity based pattern querying in time series database[C]. IEEE International Conference, San Diego, 2000.
- [16] 毛云建, 杜秀华. 基于形态特征的时间序列相似性搜索算法[J]. 计算机仿真, 2008, 25(1): 80-83. Mao Yunjian, Du Xiuhua. A method for similar sub-patterns discovery from time series[J]. Computer Simulation, 2008, 25(1): 80-83(in Chinese).
- [17] 韩英铎, 严剑锋, 谢小荣, 等. 电力系统机电暂态过程主导动态参数的在线辨识[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(2): 1-6. Han Yingduo, Yan Jianfeng, Xie Xiaorong, et al. Research on the identification of dominant dynamic parameters of power system[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(2): 1-6(in Chinese).
- [18] 肖晋宇, 谢小荣, 韩英铎. 利用有限时间扰动后的响应辨识电力

系统的主导特征值[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(12): 1-5.
Xiao Jinyu, Xie Xiaorong, Han Yingduo. Online identification of power system dominant eigenvalues based on zero-input responses following limited-time disturbances[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(12): 1-5(in Chinese).

- [19] 石景海, 贺仁睦. 动态负荷建模中的负荷时变性研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(4): 85-90.

Shi Jinghai, He Renmu. Load time-variant characteristic study in dynamic load modeling[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(4): 85-90(in Chinese).

- [20] 汤涌. 东北电网大扰动试验仿真计算中的综合负荷模型及其拟合参数[J]. 电网技术, 2007, 31(4): 75-78.

Tang Yong. Synthesis load model and its fitting parameters in simulation of large disturbance test carried out in northeast China power grid[J]. Power System Technology, 2007, 31(4): 75-78(in Chinese).

- [21] 汤涌. 电力系统数字仿真负荷模型中配电网及无功补偿与感应电动机的模拟[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(3): 8-12.

Tang Yong. The modeling of distribution network and var compensator and induction motor in the load model for power system

digital simulation[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(3): 8-12(in Chinese).



周成

收稿日期: 2009-08-23.

作者简介:

周成(1978—), 男, 辽宁人, 博士研究生。2000年毕业于东北电力学院电力系统及其自动化专业, 获学士学位; 2003年毕业于华北电力大学电力系统及其自动化专业, 获硕士学位。主要研究方向为电力系统动态仿真可信度评估, 后验仿真验证等, zhoucheng@ncepu.edu.cn;



贺仁睦

贺仁睦(1944—), 女, 湖南人, 教授, 博士生导师。1967年毕业于清华大学发电厂及电力系统专业, 获学士学位; 1984年毕业于瑞士洛桑联邦高等理工学院, 获博士学位。目前主要研究方向为电力系统动态仿真、分析与控制及负荷建模, xiaomin@public3.bta.net.cn。

(责任编辑 马晓华)

关于中国电机工程学会第十一届青年学术会议的征文通知

中国电机工程学会第十一届青年学术会议将于2010年8月下旬在清华大学召开, 会议由中国电机工程学会主办, 清华大学承办。

中国电机工程学会第十一届青年学术会议以“低碳时代的电力技术”为主题, 广泛邀请电力工程各个专业领域的青年科技人员参加, 交流青年科技人员的最新研究成果, 发现和培养优秀青年科技人才。

会议征稿范围: 1) 电厂动力工程; 2) 电网规划、运行、保护、控制技术; 3) 输配电及其装备技术; 4) 电力信息及自动化技术; 5) 新能源发电技术; 6) 节电节能技术; 7) 电力企业经营管理与电力市场; 8) 环境友好的电力技术。应征论文第一作者的年龄原则上应在40周岁以下。

投稿论文经过评审后, 由会议组委会正式通知作者。会议将出版论文光盘, 评选优秀论文并推荐到国内核心期刊发表。

会议期间代表交通食宿自理。

征文截止日期: 2010年6月15日

论文必须通过网上在线提交,

网址: <http://www.csee-conference.org/qnxshy11/> 或 <http://www.eea.tsinghua.edu.cn/>

联系人:

清华大学:

董嘉佳

电话: 010-62782138

传真: 010-62783057

中国电机工程学会:

王春莉

电话: 010-63416712

传真: 010-63414319