

电力系统实时动态监测主站系统检测评估方法研究

赵 昆, 邹 昱, 邢 颖, 窦成龙, 周京阳

(中国电力科学研究院, 北京 100192)

摘要: 以 WAMS (Wide Area Measurement System) 实际应用情况为背景, 提出了 WAMS 主站系统评估方案。把评估内容分为三个层次, 分别为系统硬件、系统软件基本功能和系统应用功能, 三个层次逐一递进展开评估, 并设计了对应的评估方法和评估函数。设计了综合考虑三个层次的 WAMS 主站系统整体评估方法和评估函数, 针对主站系统的稳定性和可靠性设计了某时段 WAMS 系统连续多次评估方法和评估函数。设计的各评估方法和函数可以为当前电网 WAMS 主站系统提供评价量化指标, 通过各量化指标可以反映出主站系统各层次的稳定性、功能和性能, 以及整个系统的稳定性、功能和性能。通过某实际系统仿真分析, 证明了评估方法的有效性。

关键词: 相量量测; WAMS 主站; 评估方法; 检测规范

Detection and evaluation on power system real time dynamic monitoring master station system

ZHAO Kun, ZOU Yu, XING Ying, DOU Cheng-long, ZHOU Jing-yang

(China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: Based on operation of WAMS in the power system, evaluation scheme of WAMS is proposed. Evaluation content is divided into three levels, including system hardware, system software basic function and system application function. The three levels' content are evaluated progressively one by one, and the corresponding evaluation method and evaluation function of every level are designed. Based on the relation of the three levels, the evaluation functions of the whole WAMS master station system are designed. Aiming at the stability and the reliability of the system, the evaluation methods and functions are designed for a certain period. At last based on the above evaluation methods and functions, a quantitative indicator is provided for the WAMS master station system, which reflects the stability, function, and performance of every level and the whole master station system. The real system test shows effectiveness and practicality of proposed methods.

Key words: phasor measurements; WAMS master station; evaluation methods; test specification

中图分类号: TM71

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2014)10-0071-06

0 引言

20 世纪 90 年代以来同步相量测量 (Phasor Measurement Unit, PMU) 技术的出现, 为电网的动态监视和事故分析提供了一种新技术实现方案的可能。PMU 主要特点在于信息的实时性 (25~100 帧/s) 和带有 GPS 时钟同步标识^[1], 由此, 对于电网运行的应用提升带来很大的想象空间。以 PMU 为应用标志的广域测量在国内外电网中得到了不同类型的试点应用^[2-7], 随着现代化大电网技术的发展, 基于 PMU 技术的动态监视、控制系统的研究已成为电网实时动态安全分析、控制技术领域的研究热点。目前我国投入电网运行的 PMU 装置已超过 2 500 套, 成为世界上安装 PMU 装置最多的国家。

我国已在各网省电力调度中心建立了 WAMS 系统, 2003 年前后, 国调、华北、东北、华东、西北、南方、江苏、广东等电网相继建成了完整的 WAMS 系统, 实现了利用 PMU 信息的电网动态监视^[8-10]、电网低频振荡监视与分析^[11-12]、电网扰动识别^[13-14] (事故后分析)、发电厂一次调频评价^[15]、电力系统模型和参数校核等功能。

随着 PMU 装置的大量接入、WAMS 系统的建立和推广, WAMS 系统相关标准化工作也陆续展开, 2003 年 3 月我国国家电力调度中心颁布了《电力系统实时动态监测(控制)系统技术规范》(试行版), 2004 年 10 月完成了第一次修订, 为了规范电力行业对 PMU 子站、WAMS 主站的技术要求, 相继开展了一系列标准的制定, 主站系统检测方面的

工作也在紧锣密鼓地开展。

WAMS 系统在实际电网已开始大量投运, 相关的检测工作也已经启动, 但相对应的评估工作, 在实际电网应用以及相关期刊杂志等文献资料都没有看到相关的报道, 当前 WAMS 主站系统的实用化情况, 各软硬件性能如何尚没有对应的方法对其进行评估。本文根据当前 WAMS 主站系统的实用化程度, 设计了对主站系统的三个层次的检测评估方法, 对主站系统软硬件及应用软件的功能和性能进行评估, 给出一个量化评价指标, 以反映主站系统的稳定性、功能和性能。

1 WAMS 主站系统

我国各网省调一般都安装了WAMS系统, 其一般配置如图1所示。基于PMU同步相量采集技术的WAMS系统主要由三部分组成: 现场PMU数据采集部分或数据汇集器 (PDC); 基于电力通信网络的信息传输部分; 电网调度端的主站数据处理和应用部分。这三个环节构成了同步相量信息采集、传输、处理和应用的完整过程。

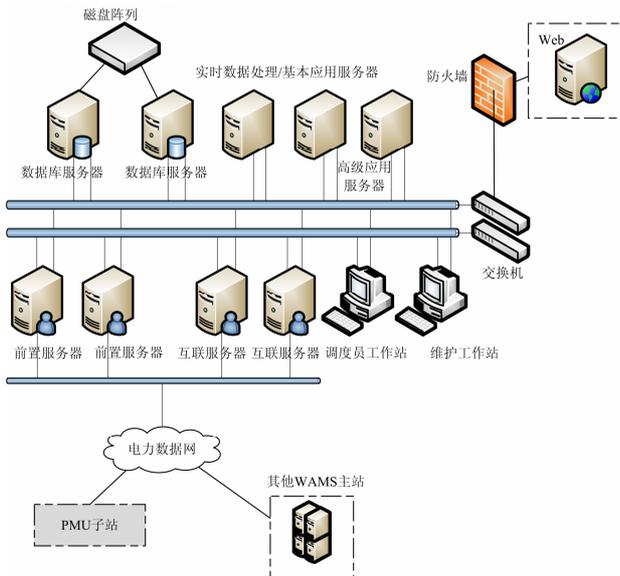


图1 WAMS 主站系统

Fig. 1 WAMS master station system

2 WAMS 主站系统检测评估总体思路

立足实用化的角度设计了 WAMS 主站系统测试评估方案, 对测试内容进行分类包括系统基本硬件、系统软件基本功能、系统应用功能, 采用从三个层次逐一推进的测试评估思路(图 2), 评估步骤如下:

1) WAMS 主站系统硬件评估, 对 WAMS 主站系统的主要硬件及环境进行检测评估, 判断当前硬

件条件是否能够支撑 WAMS 主站系统运转, 满足检测条件。

2) WAMS 主站系统软件基本功能性能评估, 检测系统软件基本功能, 并对软件基本功能及性能进行评估, 以保证主站系统的可用性和稳定性。

3) 系统应用功能性能评估, 对 WAMS 系统的应用功能以及性能进行评估, 包括功能完备性、计算速度、计算精度等, 以判断主站系统的实用化水平。

4) WAMS 系统总体评估方法, 考虑以上三方面评估内容之间的关系, 设计 WAMS 系统总体评估方案。

5) 通过对 WAMS 主站系统进行连续测试评估, 得出某一时间段主站系统的软硬件及应用功能的性能水平, 以及整个系统的稳定性。

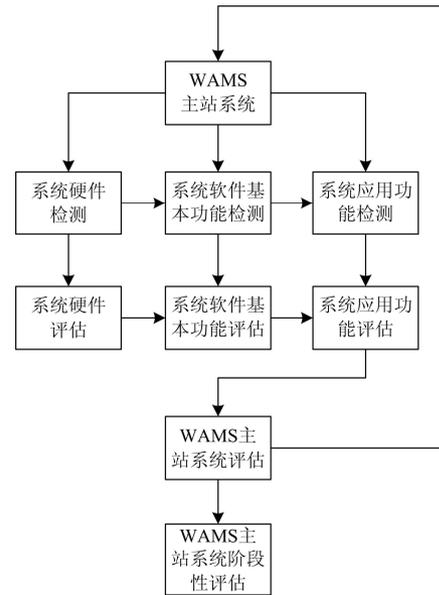


图2 WAMS 主站系统检测评估方法

Fig. 2 Detection and evaluation method of WAMS master station system

3 WAMS 主站系统评估方法

(1) 系统硬件评估方法

系统硬件是WAMS主站系统能够正常运行的基石, 同时硬件性能和所处环境都是制约整个系统性能发挥的因素。

基本系统硬件包括前置机、数据采集服务器、实时应用服务器、历史数据服务器、图形监视工作站、电源等, 基本系统硬件是主站系统不可或缺的设备。影响硬件使用寿命和性能的因素包括温度、湿度、大气压、是否有爆炸危险、是否有腐蚀性气体及导电尘埃、是否有严重霉菌、无剧烈震动冲击

源; 计算机机房符合GB/T 2887-2000《电子计算机场地通用规范》的规定; 交流电源满足要求; 不间断电源满足要求等。

基本系统硬件集合为

$$DEV = \{dev_1, dev_2, \dots, dev_i, \dots, dev_{n1}\} \quad (1)$$

影响因子集合为

$$INL = \{inl_1, inl_2, \dots, inl_l, \dots, inl_{m1}\} \quad (2)$$

设计评估函数为

$$ase_{dev} = dev_1 \wedge dev_2 \wedge \dots \wedge dev_{n1} \quad (3)$$

$$ase_{inl} = \frac{\sum_{l=1}^{l=m_1} inl_l}{m_1} \cdot ase_{dev} \quad (4)$$

$$ase_1 = \lambda_{dev} \cdot ase_{dev} + \lambda_{inl} \cdot ase_{inl} \quad (5)$$

其中

$$\lambda_{dev} + \lambda_{inl} = 1 \quad (6)$$

式(1)~式(6)中: $dev_i=1$ 表示存在, $dev_i=0$ 表示缺失; $inl_l=1$ 表示适合系统硬件运转, $inl_l=0$ 表示不适合系统硬件运转; λ_{dev} 为系统硬件权重; λ_{inl} 为影响因素权重; ase_1 为系统硬件层评估结果。

(2) 系统软件基本功能性能评估

把WAMS主站系统必备的基本系统功能作为系统评估的第二层内容, 其建立在第一层系统硬件基础之上, 又作为后续其他系统功能和应用功能的必备条件, 主要包括数据采集、数据通信、数据处理与运算、数据存储与管理、图形功能等。基本系统功能的性能指标包括系统响应时间、主站负荷率、数据误差、系统权限管理等。

基本系统软件功能集合为

$$SYSB = \{sysb_1, sysb_2, \dots, sysb_l, \dots, sysb_{n2}\} \quad (7)$$

对应各性能指标集合为

$$PERB = \{perb_1, perb_2, \dots, perb_l, \dots, perb_{m2}\} \quad (8)$$

评估函数为

$$ase_{sys} = sysb_1 \wedge sysb_2 \wedge \dots \wedge sysb_{n2} \quad (9)$$

$$ase_{perb} = \frac{\sum_{l=1}^{l=m_2} perb_l}{m_2} \cdot ase_{sys} \quad (10)$$

$$ase_2 = (\lambda_{sysb} \cdot ase_{sys} + \lambda_{perb} \cdot ase_{perb}) \cdot ase_{dev} \quad (11)$$

其中

$$\lambda_{sysb} + \lambda_{perb} = 1 \quad (12)$$

式(7)~式(12)中: $sysb_l=1$ 表示存在, $sysb_l=0$

表示缺失; $perb_l=1$ 表示性能指标在系统技术要求范围内, $perb_l=0$ 表示性能指标不在系统技术要求范围内; λ_{sysb} 为基本系统软件权重; λ_{perb} 为基本系统功能性能指标权重; ase_2 为系统软件基本功能层评估。

(3) 系统应用功能性能评估方法

其他必备系统功能包括告警、制表与打印、通信监视功能、动态监视功能、远程维护及故障诊断功能等, 必备应用功能包括低频振荡监视与分析、电网扰动识别、发电机一次调频评价、电力系统模型和参数校核。对应应用功能指标包括振荡频率计算误差要求、低频振荡报警正确率、电网扰动报警正确率、发电机一次调频正确识别率、一次调频分析结果能够保存的时间、电力系统模型和参数辨识的正确率, 各应用功能的稳定性、容错性和计算效率等。

系统应用功能集合为

$$APP = \{app_1, app_2, \dots, app_i, \dots, app_{n3}\} \quad (13)$$

对应的性能指标集合为

$$PERA = \{pera_1, pera_2, \dots, pera_l, \dots, pera_{m3}\} \quad (14)$$

评估函数

$$ase_{app} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n_3} app_i}{n_3} \quad (15)$$

$$ase_{pera} = \frac{\sum_{l=1}^{l=m_3} (pera_l \cdot app_{pera_l \in})}{m_3} \quad (16)$$

$$ase_3 = (\lambda_{app} \cdot ase_{app} + \lambda_{pera} \cdot ase_{pera}) \cdot ase_{dev} \cdot ase_{sys} \quad (17)$$

其中

$$\lambda_{app} + \lambda_{pera} = 1 \quad (18)$$

式(13)~式(18)中: $app_i=1$ 表示具备此功能, $app_i=0$ 表示不具备此功能。 $pera_l=1$ 表示性能指标满足系统技术指标要求, $pera_l=0$ 表示性能指标不满足技术指标要求; λ_{app} 为系统应用功能权重; λ_{pera} 为对应性能指标权重。式(16)中的 $app_{pera_l \in}$ 为性能指标 $pera_l$ 对应的应用功能; ase_3 为其他系统功能和应用功能性能的评估结果。

(4) WAMS主站系统整体评估方法

考虑系统硬件、系统软件和应用软件的评估,

设计 WAMS 主站系统的整体评估方法, 以能够正确评价当前系统所处状态和性能水平。

单次评估函数为

$$ase_{wams} = ase_1 + ase_2 + ase_3 \quad (19)$$

式 (19) 中, ase_{wams} 为 WAMS 主站系统总体评估结果。

(5) WAMS 主站系统连续评估方法

为了评估 WAMS 主站系统某时间对的稳定性和可靠性, 对应连续检测设计了多次评估方法。

系统硬件多次评估函数为

$$pro_{dev} = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} ase_{1_k}}{n} \quad (20)$$

系统软件多次评估函数为

$$pro_{sys} = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} ase_{2_k}}{n} \quad (21)$$

系统应用软件多次评估函数为

$$ave_{app} = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} ase_{3_k}}{n} \quad (22)$$

WAMS 系统多次评估函数为

$$ave_{wams} = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} ase_{wams_k}}{n} \quad (23)$$

式 (20) ~ 式 (23) 中: pro_{dev} 表征某时间段系统硬件设备的可用率和性能; pro_{sys} 表征了某时间段系统基本功能的可用率和性能; ave_{app} 表征了某时间段系统应用的功能性能水平; ave_{wams} 是对某时间段 WAMS 系统正常运转时整体性能的评价; k 为第 k 次评估。

4 结果评价

评估方法从三个层次对主站系统进行评估, 每个层次评估值都为 [0, 1] 范围的值, 主站系统整体评估值为 [0, 3] 范围的值,

考虑当前 WAMS 主站系统还处在初级阶段, 基本系统硬件和基本系统软件两个层次以系统的完备性为主, 因此可设置上文中 λ_{dev} 、 λ_{sysb} 分别为 0.8, λ_{inl} 、 λ_{perb} 分别为 0.2; 考虑 WAMS 系统最终还需落实到应用, 因此在系统应用层应提高应用软件性能所占的比重, 可设置 λ_{app} 为 0.5、 λ_{pera} 为 0.5。

随着系统的发展可以逐步提高系统软硬件性能和应用软件性能的权重, 以增加评估值对性能指标

的灵敏度, 以真实反映主站系统的真实运行状态。

从系统的完备性和性能水平的优劣可以设定优、良、中、差 4 个级别, 详见表 1。

表 1 结果评价

Table 1 Results evaluation				
	差	中	良	优
ase_1	0~0.8	0.8~0.9	0.9~0.95	0.95~1
ase_2	0~0.8	0.8~0.9	0.9~0.95	0.95~1
ase_3	0~0.5	0.5~0.8	0.8~0.9	0.9~1
ase_{wams}	0~2.1	2.1~2.6	2.6~2.8	2.8~3

5 算例分析

以某 WAMS 主站系统为例进行评估分析, 以测试其运行水平。基本系统硬件前置机、数据采集服务器、实时应用服务器、历史数据服务器、图形监视工作站、电源等都已安装, 基本系统软件功能也都应有尽有。

各评估内容的权重即采用上文中设定的值 (根据系统的特点或发展情况, 可对权重进行调整), 对系统运行的 20 个运行状态进行评估仿真, 分别把基本系统硬件层、基本系统软件层、系统应用软件层和系统整体评估的评估结果示于图 3~图 6。基本系统硬件和基本系统软件都已安装且运行正常, 连续平均评估值分别为 0.894 0、0.897 5, 由图 5 知应用软件性能较差, 平均评估值为 0.815 6。系统整体平均评估值为 2.607 1。系统第 7 个运行状态的评估值为 0, 因为实时应用服务器暂停工作, 作为基本系统硬件, 且是系统软件及应用软件正常运转的基础, 因此导致各层评估值均为 0。通过三个层次的评估以及系统整体评估, 不仅可以了解系统整体运行水平和性能, 可以详细了解系统的不同层次的运行状态。

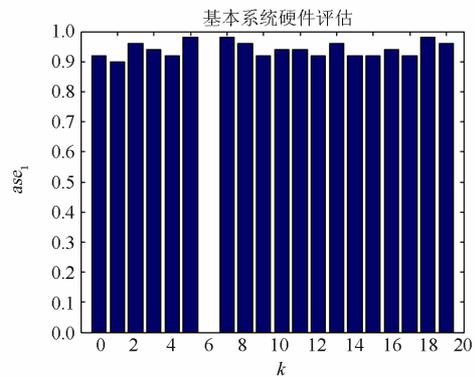


图 3 基本系统硬件评估

Fig. 3 System hardware evaluation

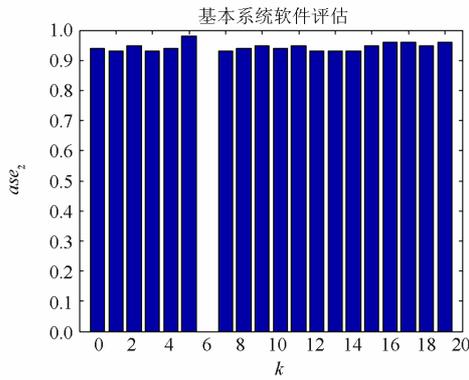


图 4 基本系统软件评估

Fig. 4 System software evaluation

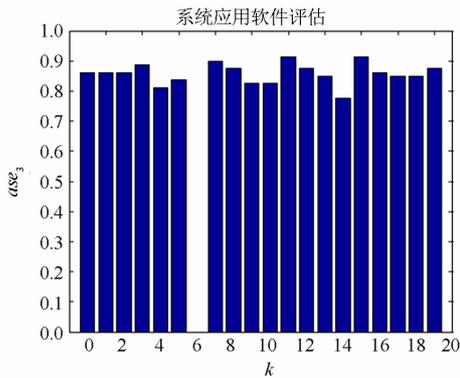


图 5 应用软件评估

Fig. 5 Application hardware evaluation

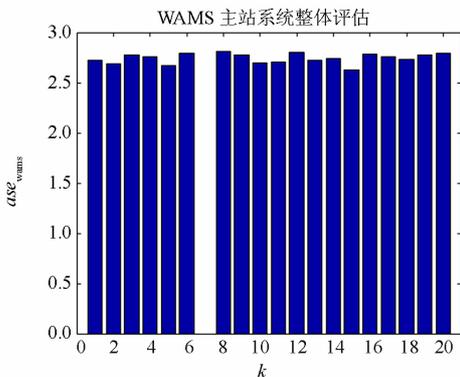


图 6 主站系统整体评估

Fig. 6 The whole system evaluation

6 结论

针对当前 WAMS 主站系统的运行情况,对系统硬件和软件进行分类,从三个层次展开 WAMS 主站系统的检测评估,依次为系统硬件评估、系统软件基本功能评估、系统应用功能的评估,并设计了每个层次的评估方法和评估函数,综合三者间的

关系进行 WAMS 主站系统的整体评估,设计了对应的评估方法。最后还设计了某一时间段 WAMS 主站系统的连续多次评估方法,以对主站系统硬件、系统软件和应用软件的功能、性能和稳定性进行评估,给出了 WAMS 主站系统运行状态的一个量化指标。通过对某 WAMS 实际系统进行仿真分析,评估值不仅能够反映系统整体运行水平和性能,还可以反映系统各层的运行情况。

参考文献

- [1] 高翔. 电网动态监控系统应用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
GAO Xiang. The grid dynamic monitoring system application technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2011.
- [2] 顾伟, 万秋兰. 广域电压监控的线性稳定指标[J]. 电工技术学报, 2010, 25(6): 110-114.
GU Wei, WAN Qiu-lan. Linearized voltage stability index for wide-area voltage monitoring and control[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(6): 110-114.
- [3] 威军, 江全元, 曹一家. 采用时滞广域测量信号的区间低频振荡阻尼控制器设计[J]. 电工技术学报, 2009, 24(6): 154-158.
QI Jun, JIANG Quan-yuan, CAO Yi-jia. Design of damping controller for inter-area low-frequency oscillation using time-delay wide-area measurements[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(6): 154-158.
- [4] 李虹, 李卫国, 熊浩清. WAMS 中计及量测函数非线性项的电力系统自适应动态状态估计[J]. 电工技术学报, 2010, 25(5): 155-160.
LI Hong, LI Wei-guo, XIONG Hao-qing. Adaptive dynamic state estimation including nonlinearities of measurement function in WAMS[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(5): 155-160.
- [5] 徐英, 夏世威, 毛安家. 基于 WAMS 预测轨迹的 IEEAC 等值[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(4): 31-34.
XU Ying, XIA Shi-wei, MAO An-jia. IEEAC method based on the WAMS predicting trajectory[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(4): 31-34.
- [6] 徐岩, 吴丹, 张亚刚. 基于多元统计分析方法的电网故障区域界定方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(24): 34-37.

- XU Yan, WU Dan, ZHANG Ya-gang. Method research of fault area location of power grid based on multivariate analysis[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(24): 34-37.
- [7] 邓晖, 赵晋泉, 柳勇军, 等. 基于改进灰色 Verhulst 模型的受扰轨迹实时预测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(9): 18-23.
- DENG Hui, ZHAO Jin-quan, LIU Yong-jun, et al. A novel post-fault rotor-angle trajectory prediction method based on modified gray Verhulst model[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(9): 18-23.
- [8] 李强, 于尔铿, 吕世超, 等. 一种改进的相量测量装置最优配置方法[J]. 电网技术, 2005, 29(12): 57-61.
- LI Qiang, YU Er-keng, Lü Shi-chao, et al. An improved optimal PMU placement algorithm[J]. Power System Technology, 2005, 29(12): 57-61.
- [9] 张胜, 王建, 贺春. 相量测量单元性能评价标准和测试方法[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(21): 102-105.
- ZHANG Sheng, WANG Jian, HE Chun. Evaluating standard and test method on function of phasor measurement unit[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(21): 102-105.
- [10] 麦瑞坤, 何正友, 薄志谦. 基于泰勒展开模型的同步相量估计新算法[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(12): 22-26.
- MAI Rui-kun, HE Zheng-you, BO Zhi-qian. Research on synchrophasor estimation algorithm based on Taylor expansion[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(12): 22-26.
- [11] 汤涌. 电力系统强迫功率振荡的基础理论[J]. 电网技术, 2006, 30(10): 29-33.
- TANG Yong. Fundamental theory of forced power oscillation in power system[J]. Power System Technology, 2006, 30(10): 29-33.
- [12] 薛禹胜, 郝思鹏, 刘俊勇, 等. 关于低频振荡分析方法的评述[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(3): 1-8.
- XUE Yu-sheng, HAO Si-peng, LIU Jun-yong, et al. A review of analysis methods for low-frequency oscillations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(3): 1-8.
- [13] 宋晓娜, 毕天姝, 吴京涛, 等. 基于 WAMS 的电网扰动识别方法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(5): 24-28.
- SONG Xiao-na, BI Tian-shu, WU Jing-tao, et al. Study on WAMS based power system disturbance identifying method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(5): 24-28.
- [14] 秦晓辉, 毕天姝, 杨奇逊. 基于广域同步量测的电力系统扰动识别与定位方法[J]. 电网技术, 2009, 33(12): 35-41.
- QIN Xiao-hui, BI Tian-shu, YANG Qi-xun. WAMS based power system disturbance identification and location approach[J]. Power System Technology, 2009, 33(12): 35-41.
- [15] 郑涛, 高伏英. 基于 PMU 的机组一次调频特性参数在线检测[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(11): 57-61.
- ZHENG Tao, GAO Fu-ying. On-line monitoring and computing of unit PFR characteristic parameter based on PMU[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(11): 57-61.

收稿日期: 2013-08-06; 修回日期: 2013-09-25

作者简介:

赵 昆 (1984-), 男, 硕士, 工程师, 从事电网分析高级应用工作. E-mail: zhaokunfx@126.com