

一种基于 LS-SVR 的电网在线暂态稳定性预测新方法

白茂金¹, 陈刚¹, 刘青², 张作鹏³, 张雪君¹

(1. 重庆大学高电压与电工新技术教育部重点实验室, 重庆 400044; 2. 西安科技大学电控学院, 陕西 西安 710054;
3. 重庆电力超高压局, 重庆 400030)

摘要: 广域测量系统 WAMS (Wide Area Measure System) 的出现, 为大电网在线暂稳预测提供了新的实时数据平台。基于 WAMS 数据, 通过 CCCOI-RM 变换将系统进行简化等值, 采用最小二乘支持向量机回归算法 LS-SVR (Least Square Support Vector Regression) 的出色学习性能和非线性处理能力, 对等值系统的功角轨迹进行在线学习和实时预测, 并进一步使用极值、阈值双重判据进行暂态稳定性判断。该方法不用考虑系统详细结构, 计算速度快, 预测时间长, 仿真分析表明所提出的方法能够快速准确地预测电力系统的暂态稳定性, 并为下一步采取相应的紧急预控制措施提供相对充裕的时间窗口。

关键词: 广域测量系统 (WAMS); 相量测量单元 (PMU); 最小二乘支持向量机回归 (LS-SVR); 暂态稳定; 功角预测

A new method of transient stability forecasting based on LS-SVR

BAI Mao-jin¹, CHEN Gang¹, LIU Qing², ZHANG Zuo-peng³, ZHANG Xue-jun¹

(1. Key Laboratory of High Voltage and Electrical New Technology of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;
3. Chongqing Power Extra-high Voltage Bureau, Chongqing 400030, China)

Abstract: Wide Area Measure System provides a new platform for on-line transient stability prediction of bulk power system. A novel time series data based Least Square Support Regression (LS-SVR) transient stability forecasting method is proposed to solve the on-line transient stability problems in the paper. The LS-SVR method has excellent studying and non-linear problems processing abilities, and can provide a comparatively long forecasting time range. Calculation is simplified by CCCOI-RM transform and results stability is enhanced by using of Extremum plus Threshold Double Criterion in the paper. The method is fast and has no direct collection with the system detailed model. Simulation results show that the proposed method yield satisfactory accuracy for real-time transient stability prediction.

This project is supported by National Natural Science Foundation of Chongqing Science & Technology Commission (No.2006BB6209).

Key words: wide area measure system; PMU; least square support regression; transient stability; angle forecasting

中图分类号: TM711 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)19-0009-06

0 引言

电力系统互联规模的不断扩大, 对系统暂态安全稳定控制提出了更高的要求, 由于暂稳问题的快速性和紧急控制措施的滞后性, 对电网暂态稳定性进行实时预测分析变得尤为重要。近年来, 基于同步相量测量技术的广域测量系统 (WAMS) 在电力系统中的应用日渐增多, 为在线暂稳问题的解决提供了全新的技术手段^[1-3]。

目前, 基于 WAMS 数据的暂态稳定分析主要

有: 基于简化模型的辨识法^[4]、人工智能法^[5]以及角度外推法^[6,7]。基于简化模型的辨识法通过建立系统的数学模型, 利用系统辨识达到功角预测的目的, 缺点是需要预先知道系统结构参数; 人工智能法通过将数据和已经训练好的样本进行比较, 给出稳定性判断, 缺点是不能给出直观的摇摆曲线, 并需要大量离线计算来训练样本。角度外推法, 利用相量测量单元 (PMU) 测量得到的功角值直接采用数学方法进行功角预测, 目前这类方法由于其具有原理简单、易于实现、速度极快, 且不依赖于系统详细结构等特点, 是电网在线暂稳预测的研究热点之一。使用角度外推法进行功角预测的主要代表算法有多

基金项目: 重庆市科委自然科学基金资助项目 (2006BB6209)

项式拟合^[6]和自回归(AR)预测模型^[7],如何在保持足够预测精度的前提下提高有效预测时间是目前这类算法亟待解决的问题。为此,本文将支持向量机引入到功角预测应用中,取得了比较理想的效果,为暂稳在线预测分析提供了新的视角。

基于标准支持向量机,本文提出了一种使用最小二乘支持向量机回归算法(LS-SVR)预测功角轨迹,并进行系统暂态稳定性快速判断的新方法。该方法首先通过 CCGOI-RM 变换将多机系统等值简化为单机系统,然后用 LS-SVR 算法预测功角轨迹,并进一步使用极值、阈值双重判据进行暂态稳定性判断。仿真分析表明本方法能够对未来功角轨迹提供理想的预测精度,提高了预测时间长度,为采取紧急预控制措施提供了相对充裕的时间窗口。

1 最小二乘支持向量机回归算法(LS-SVR)

1.1 支持向量机

支持向量机 SVM (Support Vector Machine)^[8]是由 AT&TBell 实验室提出的一种新的基于统计学习理论的机器学习方法。统计学习理论是一种专门研究小样本情况下机器学习规律的理论。该理论针对小样本统计问题建立了一套新的理论体系,在这种体系下的统计推理规则不仅考虑了对渐近性能的要求,而且追求在有限信息的条件下得到最优结果。统计学习理论是建立在一套较坚实的理论基础之上的,为解决有限样本学习问题提供了一个统一的框架。

在这一理论基础上发展的支持向量机将问题将转化成为一个二次型寻优问题,从理论上说,得到的将是全局最优点,并且通过将非线性问题映射到高维空间的线性问题,采用核函数^[9]来代替高维空间中的内积运算,避免了高维运算,巧妙地解决了非线性问题。该方法已成功用于解决分类、识别和回归等诸多领域,目前将支持向量机应用于电力系统负荷预测方面的研究比较多,而在暂稳预测方面的应用研究还较少,本文利用回归型支持向量机具有的出色学习性能和非线性处理能力,将其引入到电力系统的暂稳预测领域。

1.2 最小二乘支持向量机回归算法(LS-SVR)

最小二乘支持向量机是标准支持向量机的一种扩展,它的损失函数直接定义为误差平方和,将优化中的不等式约束转化为等式约束,由此将二次规划问题转化为线性方程组求解,降低了计算复杂性,加快了求解速度。基于最小二乘支持向量机的函数回归算法简称为最小二乘支持向量回归算法(LS-SVR)。

对于训练样本集 $D = \{(x_i, y_i) | i = 1, 2, \dots, l\}$, 其中 l 为样本个数, $x_i \in R^n, y_i \in R$, 分别为输入和输出数据,且 $y_i = f(x_i)$ 为待估计的未知数。支持向量机模型的目标是构造一个下面格式的判别函数:

$$f(x) = w^T \varphi(x) + b \quad (1)$$

使得样本 x 对应的函数值 y 能够用 $f(x)$ 近似。

这里,非线性映射 $\varphi(x)$ 把输入数据映射到一个高维特征空间,式中 w 为特征空间中的权向量, $b \in R$ 为偏置。

其损失函数可定义如下:

$$e(f(x_i) - y_i) = \begin{cases} 0, & |f(x_i) - y_i| < \varepsilon \\ |f(x_i) - y_i| - \varepsilon, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

其中: ε 为不敏感函数。

于是最小二乘支持向量机回归估计可描述为如下优化问题:

$$\min_{w, e} J(w, e) = \frac{1}{2} w^T w + \gamma \sum_{i=1}^l e_i^2 \quad (3)$$

满足约束

$$y_i = w^T \phi(x_i) + b + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (4)$$

其对偶问题的拉格朗日多项式为:

$$L(w, b, e, a) = J(w, e) - \sum_{i=1}^l a_i \{w^T \varphi(x_i) + b + e_i - y_i\} \quad (5)$$

其中: a_i 为拉格朗日乘子。根据最优化理论,最优解的条件为:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial w} = 0 \rightarrow w = \sum_{i=1}^l a_i \varphi(x_i) \\ \frac{\partial L}{\partial b} = 0 \rightarrow \sum_{i=1}^l a_i = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial e_i} = 0 \rightarrow a_i = \gamma e_i, \quad i = 1, 2, \dots, l \\ \frac{\partial L}{\partial e_i} = 0 \rightarrow w^T \varphi(x_i) + b + e_i - y_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, l \end{cases} \quad (6)$$

写成如下矩阵形式:

$$\begin{bmatrix} I & 0 & 0 & -Z^T \\ 0 & 0 & 0 & -e^T \\ 0 & 0 & \gamma I & -I \\ Z & e_i^T & I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w \\ b \\ e \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ y \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中:

$$Z = [\varphi(x_1), \varphi(x_2), \dots, \varphi(x_l)]^T$$

$$e_i = [1, \dots, 1]^T$$

$$e = [e_1, e_2, \dots, e_l]^T$$

$$y = [y_1, y_2, \dots, y_l]^T$$

$$a = [a_1, a_2, \dots, a_l]^T$$

消去 e 和 w , 再利用 Mercer 条件:

$$\Omega_{kj} = \varphi(x_k)^T \varphi(x_j) = K(x_k, x_j) \quad k, j = 1, 2, \dots, l \quad (8)$$

得到的方程组只与 b, a 有关, 方程组简化为:

$$\begin{bmatrix} 0 & e_i^T \\ e_i & \Omega + \gamma^{-1}I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ y \end{bmatrix} \quad (9)$$

令 $A = \Omega + \gamma^{-1}I$, 解线性方程组得到:

$$b = \frac{e_i^T A^{-1} y}{e_i^T A^{-1} e_i} \quad a = A^{-1}(y - b e_i) \quad (10)$$

整理 (1) (6) (8), 得到回归拟合函数:

$$f(x) = \sum_{i=1}^l a_i K(x, x_i) + b \quad (11)$$

其中: $K(x, x_i)$ 定义为高斯核函数:

$$K(x, x_i) = e^{-\|x-x_i\|^2/\sigma^2} \quad (12)$$

2 多机等值模型

电力系统遭受扰动后会引引起系统结构和参数的变化, 使系统潮流和各发电机的输出功率也随之发生变化, 破坏原动机和发电机之间的功率平衡, 使发电机转子脱离同步转速产生相对运动。由于距离故障点的电气距离、系统负荷分布、以及机组自身惯性时间常数的不同, 各机组转子角度变化的趋势和快慢也将不同, 导致暂稳分析的复杂度增加。为提高计算速度以满足在线暂稳预测的需要, 本文采用了互补群惯量中心-相对运动(CCCOI-RM)变换对多机系统进行了等值简化。

CCCOI-RM 变换是将多机系统的角度轨迹逐点映射到一系列聚合单机平面上, 形成时变 OMIB 系统的 $P-\delta$ 轨迹。针对某个给定的故障, 将系统中全部发电机自动分为互补的两群, 分别各用一台等值机代替, 将系统简化为两机系统, 然后进一步等值成单机无穷大(OMIB)系统。由于该变换完整地保持了原多机空间的稳定信息, 经过变换和等值简化, 可将多机暂态稳定问题转化为 OMIB 系统问题^[10,11]。

若发电机 i 与发电机 j 满足下式:

$$|\Delta\delta_i(t) - \Delta\delta_j(t)| \leq \varepsilon \quad \varepsilon \geq 0 \quad (13)$$

则称发电机 i 和发电机 j 是同调的, $\Delta\delta_i(t)$ 与 $\Delta\delta_j(t)$ 分别表示发电机 i 与 j 的角增量, ε 为精度控制变量, 根据要求的精度可取不同的值, 一般取 0.7 左右就可获得较满意的结果^[13]。

首先, 将测得的各个功角曲线按照式 (1) 同调判别方法进行分群, 可将 n 机系统划分为两个非空的互补机群, 即临界机群 S 和剩余机群 A 。

其次, 用 CCCOI-RM 变换^[11,12]将互补群的功角曲线聚合, 得到主导映象的功角曲线, 并用两台等

值发电机代替两个互补机群, 系统简化为两机系统。功角曲线聚合通过以下公式实现:

$$\begin{cases} \delta_s = M_s^{-1} \sum_{i \in S} M_i \delta_i & M_s = \sum_{i \in S} M_i \\ \delta_A = M_A^{-1} \sum_{i \in A} M_j \delta_j & M_A = \sum_{i \in A} M_j \end{cases} \quad (14)$$

其中: δ_s 与 δ_A 分别为聚合后的互补机群惯性中心角, δ_i 与 δ_j 分别为互补机群内各机组的实测功角, M_s 与 M_A 分别为聚合后互补机群等值机的惯性时间常数, M_i 与 M_j 分别为互补机群内机组的惯性时间常数。

最后, 将两机系统进一步简化为 OMIB 系统, 可构成系统等值发电机功角:

$$\delta = \delta_s - \delta_A \quad (15)$$

3 稳定性判据

判断稳定性的一般方法是分析预测曲线是否存在极值, 但这种方法具有一定的局限性, 即该方法对曲线的完整程度高度依赖, 在预测时间窗口有限的情况下, 有时会给出错误的结论。为改善稳定性判据的有效性, 本文提出了采用极值和阈值双重判据方法。在预测曲线无极值的情况下, 若功角值未超过给定的上限值(通常取为 $150^\circ \sim 200^\circ$ ^[14]), 则判断系统是暂态稳定的。使用双重判据克服了仅使用曲线是否存在极值判据的不足, 提高了判断结论的正确率。根据功角轨迹判断系统暂态稳定性的算法流程如图 1 所示。

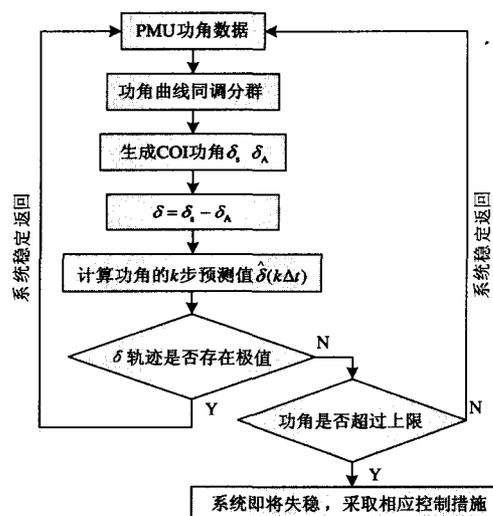


图 1 稳定性判断流程图

Fig.1 Scheme of stability judgment

4 算例分析

本文使用 Matlab 对 LS-SVR 预测算法进行了仿

真和分析,其中功角原始数据来自于 WAMS 系统中各个机组的 PMU 子站采集的实时功角时间序列(一般 PMU 子站的上传速度为 50 次/s,即采样时间间隔设定为 0.02s)。

4.1 单机无穷大系统

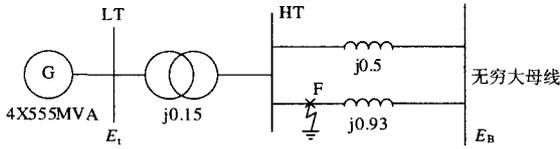


图 2 单机无穷大系统单线图

Fig.2 Single line diagram of OMIB system

本文对典型的单机无穷大系统算例进行了仿真分析。本算例中,传输线路 2 入口处出现三相短路故障,通过本算例,本文将 LS-SVR 预测算法与 AR 预测算法进行了对比,结果表明 LS-SVR 算法具有更好的数据逼近性能。对比数据节选如表 1。

表 1 LS-SVR 算法与 AR 算法预测数据对比

Tab.1 Prediction comparison of LS-SVR and AR methods

时间	0.26	0.28	0.3	0.32	0.34	0.36	0.38	0.4
实测值	126.45	126.86	127.29	127.75	128.24	128.77	129.36	130
LS-SVR	126.9	127.45	128.05	128.7	129.43	130.22	131.1	132.06
AR预测	128.09	128.9	129.79	130.78	131.88	133.09	134.42	135.89

通过表 1 中数据对比可以发现,当预测时间在 0.3s 以内时,两种算法都取得了较为理想的预测效果,但随着时间的增加,AR 算法的预测精度迅速降低(0.4 s 时的误差为 5.89°,而此时 LS-SVR 算法的误差仅为 2.06°)。可见,LS-SVR 预测算法具有数据拟合度好,在指定误差范围内预测时间长等特点。

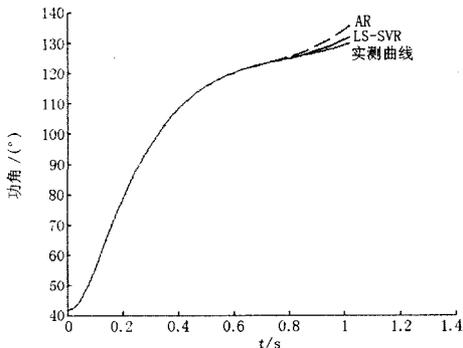
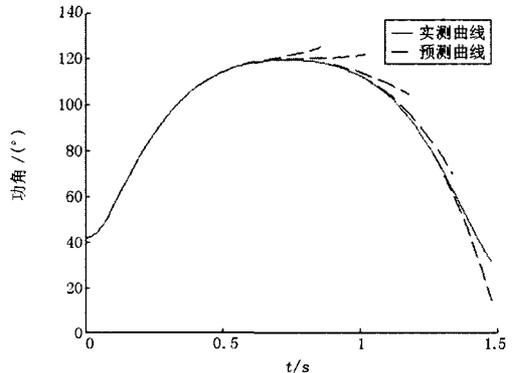


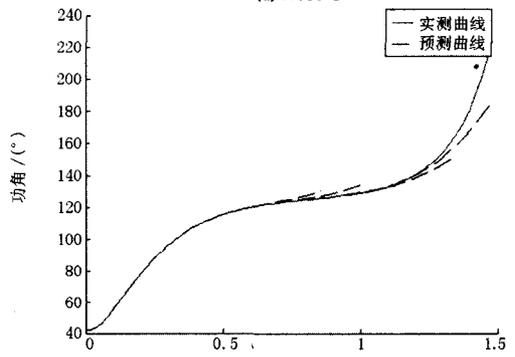
图 3 LS-SVR 与 AR 算法预测曲线

Fig.3 Prediction curves of LS-SVR and AR method

下面给出基于 LS-SVR 预测算法的系统暂稳仿真分析。本文分别就故障切除时间为 0.086 s (稳定)和 0.087 s (失稳)的情况进行了仿真计算,预测曲线见图 4 所示。



(a)0.086 s



(b)0.087 s

图 4 故障切除时间为 0.086s 和 0.087s 时预测曲线

Fig.4 Prediction curves with clear time 0.086s and 0.087s

其中,实线为实测功角运行曲线,虚线为故障发生后功角的滚动预测曲线。通过对曲线的分析,发现当仅把曲线是否存在极值作为机组是否稳定的判据时,不能够准确地判定机组是否失步。比如,通过图 4(a)中 0.46 s 或 0.62 s 时的预测曲线没有极值,而判定系统失去稳定,将得到错误的结论。造成这种结果的原因是通过历史采样数据仅能够预测未来 0.4 s 的数据,对于更多步数的预测由于预测误差太大而失去实际意义。

为解决单一判据的不足,本文应用极值加阈值复合判据,即在判断曲线是否存在极值的基础上,判断功角是否达到了给定的阈值上限。通过这种极值、阈值复合判据,就不会将切除时间为 0.086 s 的情况(图 4 (a))错判为失稳。对于切除时间为 0.087 s 的情况(图 4 (b)),通过复合判据可以在 0.94 s 时判断出功角将会在 1.34 s 时超过 150°,而实测功角将在 1.28 s 之后开始超过 150° 的上限,即实际提前 0.34 s 判断出系统将失去稳定。分析结果表明,复合判据对稳定和失稳两种情况都能够提供正确的判断。

4.2 多机系统

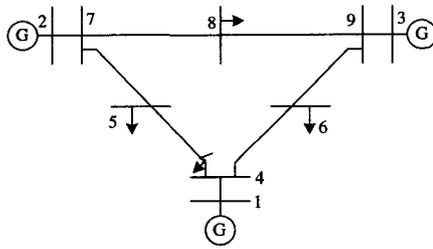
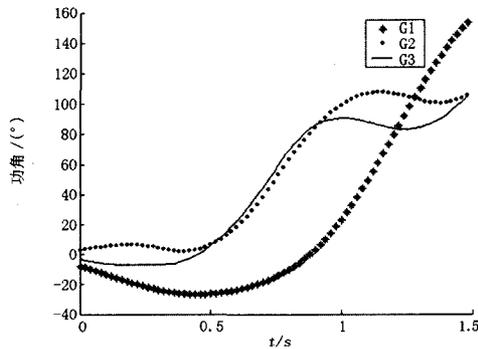


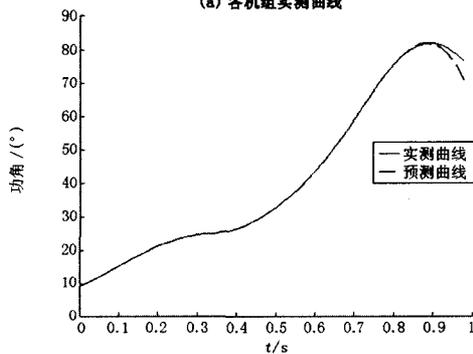
图 5 3 机系统单线图

Fig.5 Single line diagram of 3 machine system

本文对典型 3 机 9 节点系统 (图 5 节点 4 处发生三相短路故障) 进行了仿真分析, 仿真结果表明: 无论对于稳定情况 (图 6), 还是非稳定情况 (图 7), 本文算法都能提供足够的预测精度, 并给出正确的稳定性判断。



(a) 各机组实测曲线



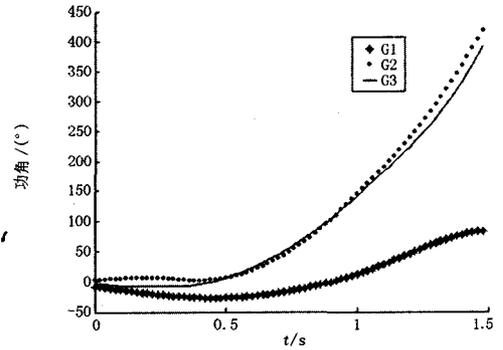
(b) 等值后曲线及其预测曲线

图 6 故障切除时间为 0.3 s 时功角曲线

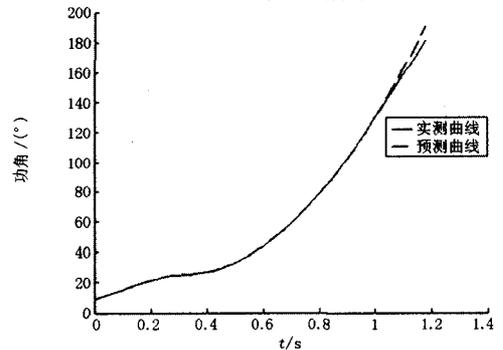
Fig.6 Angle curves with clear time 0.3s

5 结论

本文基于广域测量系统提出了一种使用最小二乘支持向量机回归算法 (LS-SVR) 对发电机功角进行预测的新方法, 并改进了稳定性的判据。该方法首先通过 CCCOI-RM 变换将系统等值简化为单机系统, 然后采用 LS-SVR 算法预测功角曲线, 最后



(a) 各机组实测曲线



(b) 等值后曲线及其预测曲线

图 7 故障切除时间为 0.5 s 时功角曲线

Fig.7 Angle curves with clear time 0.5s

使用极限、阈值复合判据判断系统暂态稳定性。通过对单机和多机标准系统的仿真分析表明, 本文方法能够对其暂态稳定性作出快速正确的预测判断, 并能够提供相对充裕的时间窗口用于紧急预控制措施的实施, 为暂稳在线预测分析提供了新的视角。

参考文献

- [1] Phadke A G Synchronized Phasor Measurements in Power Systems[J]. IEEE Computer Applications in Power, 1993, 6(3): 10-15.
- [2] 许树楷, 谢小荣, 辛耀中. 基于同步相量测量技术的广域测量系统应用现状及发展前景[J]. 电网技术, 2005, 29(2): 44-49.
- [3] XU Shu-kai, XIE Xiao-rong, XIN Yao-zhong. Present Application Situation and Development Tendency of Synchronous Phasor Measurement Technology Based Wide Area Measurement System[J]. Power System Technology, 2005, 29(2): 44-49.
- [4] 谢小荣, 李红军, 吴京涛, 等. 同步相量技术应用于电力系统暂态稳定性控制的可行性分析[J]. 电网技术, 2004, 28(1): 10-14.
- [5] XIE Xiao-rong, LI Hong-jun, WU Jing-tao, et al. Feasibility Study on Using Synchrophasor Technology for Power System[J]. Power System Technology, 2004,

- 28 (1): 10-14.
- [4] 彭疆南, 孙元章, 王海风. 基于广域量测数据和导纳参数在线辨识的受扰轨迹预测[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (22): 6-10.
PENG Jiang-nan, SUN Yuan-zhang, WANG Hai-feng. Research on the Perturbed Trajectories Prediction Based on Wide-area Measurement and On-line Admittance Matrix Identification[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(22): 6-10.
- [5] 刘玉田, 林飞. 基于相量测量技术和模糊径向基神经网络的暂态稳定性预测[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20 (2): 19-23.
LIU Yu-tian, LIN Fei. Application of PMU and Fuzzy Radial Basis Function Network to Power System Transient Stability Prediction[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20 (2): 19-23.
- [6] 苏建设, 陈陈. 基于 GPS 同步量测量的时间序列法暂态稳定预测[J]. 电力自动化设备, 2001, 21 (9): 7-9.
SU Jian-she, CHEN Chen. Transient Stability Prediction Using Time-Series Based on GPS Synchronized Measure [J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21 (9): 7-9.
- [7] 郭强, 刘晓鹏, 吕世荣, 等. GPS 同步时钟用于电力系统暂态稳定性预测和控制[J]. 电力系统自动化, 1998, 22 (6): 11-13.
GUO Qiang, LIU Xiao-peng, Lü Shi-rong, et al. Application of GPS Synchronized Clock to Power System Transient Stability Predict and Control[J]. Automation of Electric Power Systems, 1998, 22(6): 11-13.
- [8] Cortes C, Vapnik V N. Support-Vector Networks[J]. Machine Learning, 1995, 20(3):273-297.
- [9] Cristianini N, Taylor J S. An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [10] 滕林, 刘万顺, 负志皓, 等. 电力系统暂态稳定实时紧急控制的研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (1): 64-69.
TENG Lin, LIU Wan-shun, YUN Zhi-hao, et al. Study of Real-time Power System Transient Stability Emergency Control [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (1): 64-69.
- [11] Xue Y. Extended Equal Area Criterion: Foundations and Applications (Invited Paper)[A]. In: 4th Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning[C]. Brazil: 1994.
- [12] 胡杰, 余贻鑫. 电力系统动态等值参数聚合的实用方法[J]. 电网技术, 2006, 30 (24): 26-30.
HU Jie, YU Yi-xin. A Practical Method of Parameter Aggregation for Power System Dynamic Equivalence[J]. Power System Technology, 2006, 30(24): 26-30.
- [13] 随永正. 电力系统同调机群的识别方法[J]. 黑龙江电力技术, 1997, 19 (6): 325-327.
SUI Yong-zheng. Distinguishing Method of Coherency Set Group in Electric Power System[J]. Heilongjiang Electric Power, 1997, 19(6):325-327.
- [14] Kundur P. Power System Stability and Control[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.

收稿日期: 2007-11-21; 修回日期: 2008-03-06

作者简介:

白茂金 (1978-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行控制与分析计算; E-mail: baibye@tom.com

陈刚 (1964-), 男, 副研究员, 研究方向为电力系统运行控制与分析计算;

刘青 (1978-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事电力系统过电压的计算机仿真及防护等方面的教学和研究工作。

云南至广东±800 kV 直流输电工程 FPT 预试验启动

9月12日, 南方电网技术研究中心在许昌组织召开了“云南至广东±800 kV 直流输电工程 FPT 预试验启动会”, 会议由南网研究中心副主任饶宏主持。南网超高压公司工程管理处处长尚涛、许继电气副总经理姚致清以及南网研究中心、超高压公司、总调, 许继集团, 西门子公司等有关领导和人员参加了会议。

会议听取了许继直流输电系统部副经理张爱玲关于云广直流工程控制保护系统信号测试的工作汇报和南网研究中心洪潮博士关于 FPT 预试验方案的工作汇报, 对云广直流工程控制保护系统目前存在的主要问题和应对措施进行了充分的讨论。

会议认为, 研究中心提出的云南至广东±800 千伏直流输电工程 FPT 预试验方案安排是合理的。会议明确了在保证 FPT 预试验工作的前提下, 控制保护系统信号测试工作要交叉同步进行。许继要制定详细的信号测试计划, 保证信号测试主要工作在 FPT 预试验结束前完成。西门子要加强对 FPT 预试验的技术支持, 采用有效措施抓紧解决 HMI 目前存在的问题。

据了解, FPT 预试验的启动属于在条件不完全具备情况下的强制启动, 主要目的是推动整个试验进程。