

风电场分布式能量管理系统：体系架构和关键技术

孙宏斌, 郭庆来, 吴文传, 张伯明, 王彬, 刘翊枫, 王孟夏

(清华大学电机系电力系统国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 当前大规模波动性风电接入给电网安全、有功调度和无功电压控制带来严重挑战, 传统能量管理系统(EMS)的集中式架构在网络建模、信息通信、分析的快速性以及控制的敏捷性方面均难以适应抑制风电快速波动的要求。为此, 提出了分布集中式EMS框架下的风电场分布式EMS的体系结构, 详细阐述了其关键技术, 含: 风电场网络建模及全状态感知、风功率预测、状态监视、安全分析和自动发电/电压控制等。通过一个风电场EMS自动电压控制的应用实例说明风电场分布式EMS的运行效果。

关键词: 电力系统; 风电; 能量管理系统; 分布式

Wind farm distributed energy management system: architecture and key technologies

SUN Hong-bin, GUO Qing-lai, WU Wen-chuan, ZHANG Bo-ming, WANG Bin, LIU Yi-feng, WANG Meng-xia

(State Key Laboratory of Power Systems, Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: To integrate large-scale intermittent wind power greatly challenges the power system operation on security analysis, active power dispatch and voltage control. The conventional centralized architecture of energy management system (EMS) could not satisfy the requirement to mitigate the wind power's fluctuations, especially on network modeling, information communication, real-time analysis and flexible control. As part of a new distributed-centralized architecture, a distributed EMS for wind farm is proposed, as well as the key technologies that include network modelling of wind farm grid, state estimation, wind power forecasting, 3-D monitoring, security assessment, AGC and AVC, etc. An application example of wind farm voltage control is presented to illustrate the operation effects of the distributed EMS.

This work is supported by National Key Basic Research Program of China (973 Program) (No. 2013CB228206), National Science Fund for Distinguished Young Scholars (No. 51025725), National Natural Science Foundation of China (No. 51277105 and No. 51321005) and Beijing Higher Education Young Elite Teacher Project (No. YETP0096).

Key words: power system; wind power; energy management system; distributed system

中图分类号: TM619 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)05-0026-06

0 引言

近年来, 智能电网建设浪潮席卷全球, 已成为世界各国能源工业可持续发展的重大战略举措之一。而能量管理系统(EMS)作为智能电网的“智慧”核心, 如果将电网看成是“躯体”, EMS则是公认的“神经中枢”和“大脑”, 其任务是对电网进行实时信息采集、监视、分析、优化和控制决策, 实质是通过信息流调控能量流, 保障电网运行的安全、经济和优质。EMS系统构架由美国学者 DyLiacco 于

20世纪60年代提出^[1], 该框架是针对传统电力系统设计的, 是一种以控制中心为核心的集中式结构, 数据由控制中心集中处理, 厂站监控系统是被动的, 只作为数据转发单元。由于传统电力系统中水火电源是确定型的和可控的, 而且主要为集中接入, 负荷是单向的和被动的, 不存在互动问题, 因此这种集中式框架可以适应传统电力系统运行调控的需要, 一直沿用至今。

当前, 风力发电被大规模接入电网。以我国风电发展为例, 截至到2011年底, 我国风电并网装机已达4505.11万kW, 且根据“十二五”规划, 至2020年, 风电装机将达到1.5亿kW^[2]。由于风电具有强间歇性、随机波动性和低可调度性, 如此大规模的开发将对电网运行的网络安全、有功调度和

基金项目: 国家973计划(2013CB228206); 国家杰出青年科学基金(51025725); 国家自然科学基金(51277105, 51321005); 北京市青年英才计划(YETP0096)

无功电压控制带来严重挑战, 很多前期研究也已经开展^[3-8]。而传统 EMS 的集中式网络建模、数据采集及运行调控模式在大规模风电接入后的海量数据通信及复杂网络结构制约下, 控制周期较长, 难以适应抑制风电快速波动的要求, 轻则损害电网运行的经济性及电能质量, 严重时还会导致风机大面积脱网及失负荷等严重后果。对此, 传统 EMS 必须作出变革, 由“集中式”向“分布+集中式”转变, 发展风电场分布式 EMS^[9-12], 其目的和意义在于:

(1) 在风场侧实现自治控制, 充分发挥本地控制的敏捷性优势, 抑制风电波动, 增强其自身的接入能力。(2) 在调度中心侧通过与风场 EMS 的互动协调, 在保持调度中心原有的集中式管理优势(能够着眼全局)的基础上, 减少调度中心 EMS 的网络建模、运行分析及调控决策的运算量, 提高调度中心 EMS 分析决策速度。(3) 在通信方面, 大幅度减少调度中心与风电场之间的信息交换, 缓解海量数据通信瓶颈问题, 提高 EMS 运行的可靠性。可见, 发展风电场分布式 EMS 系统, 实现风电场与调度中心的“分布自治”“集中协调”的结合, 对充分发挥风电场与调度中心的各自优势, 提高风电场对电网的友好性, 增强电网接纳大规模风电能力具有重要意义。以下本文围绕风电场分布式 EMS, 重点阐述其体系架构及关键技术。

1 风电场分布式 EMS 的体系架构

如上所述, 在“分布+集中式”的 EMS 框架下, 风电场 EMS 对本地的运行分析与调控不是独立完成的, 而要与调度中心互动, 实现“分布自治+集中协调”。因此, 以下首先给出风电场 EMS 与调度中心之间的互动机制, 以清晰风电场 EMS 的运行背景及前提。风电场 EMS 与调度中心之间的互动机制示意图如图 1 所示。

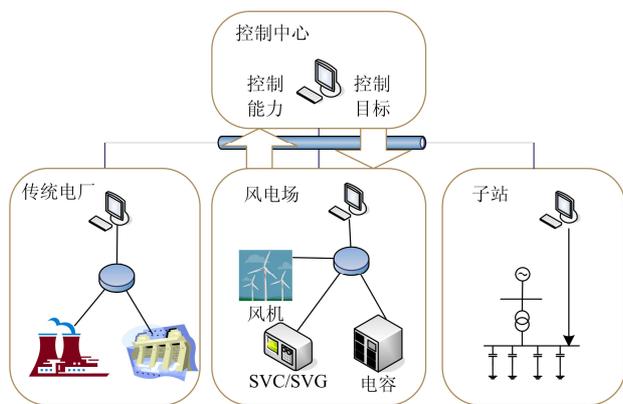


图 1 风电场 EMS 与调度中心的互动

Fig. 1 Coordination between distributed wind farm EMS and

control center

由图 1 可见, 风电场 EMS 与调度中心的互动体现在风电场上行控制能力数据与调度中心下行风电场输出功率及电压的参考值信息。

1) 上行信息为各风电场当前时刻及未来的有功、无功控制能力。对于每个风电场内部, 可能包含了上百台不同类型的风机、多组电容电抗器以及 SVC/SVG 等各种复杂控制手段, 电网控制中心不可能也没必要对这些具体设备进行详细建模, 控制中心更关心的是从接入点看过去, 整个风场等效的有功无功的上下调范围, 即该风场的有功无功控制能力大小。这一调节范围并非一成不变, 而是随着电网运行点变化、风速变化、设备不同控制状态等实时变化, 这一信息将由风场分布式 EMS 根据就地信息进行统计、分析、预测, 并实时上传调度中心。

2) 下行数据为各风电场接入点(POC 点)注入功率及电压的控制目标。由于风场 EMS 只能采集本地信息, 无法看到电网全局的潮流分布, 单纯从风场侧无法确定 POC 点合理的注入功率与电压水平, 需要调度中心 EMS 根据全网实时信息和控制能力(含各风场上行信息以及传统电厂和变电站的调节能力), 以全网的安全经济运行为目标, 确定全网各主要发电节点的注入功率与电压参考值(其中包括了风场 POC 点), 并将 POC 点的控制目标下发给风场 EMS。风场 EMS 则利用场内调节手段, 通过本地的快速闭环控制追踪上述目标, 并实现风场内网络的安全经济运行。

如上所述, 风电场相当于一个小型电网, 是地理范围较广、具有一定规模的网络结构, 且控制手段复杂多样。因此, 风电场 EMS 在功能上与传统 EMS 具有一定的共性, 围绕风电场自动发电控制、自动电压控制的核心功能, 需要在风场内的实时量测数据基础上, 实现状态估计、风功率预测、在线潮流、安全分析等关键技术。风电场 EMS 的体系架构如图 2 所示。

需要强调的是, 与传统 EMS 不同, 为了有效跟踪控制中心下发的控制目标, 并保证风电场的安全稳定运行, 要求风电场 EMS 必须充分发挥本地的控制优势, 通过敏捷型控制抑制风电的波动。因此, 其必然具有较短的控制周期(通常为秒级)。在紧急情况下, 假如风场内配置了 PMU, 甚至可实现毫秒级的快速紧急控制。这也是传统 EMS 无法做到的。以下将对图 2 中涉及的各项关键技术进行分别介绍。

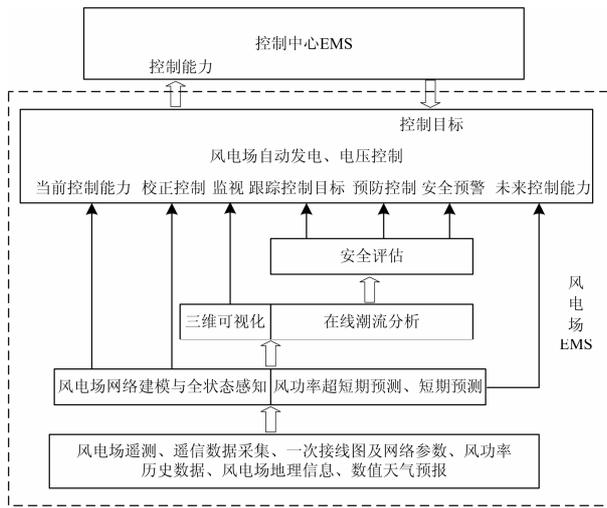


图2 风电场分布式EMS体系架构

Fig. 2 Architecture of distributed wind farm EMS

2 关键技术

2.1 网络建模及全状态感知

如上所述，风场可视为一个小型的辐射状电网，最远的两台风机可能距离十公里以上，风场内部的有功、无功、电压分布差异较大。以电压为例，不同位置风机机端电压（690 V）在正常情况下就可能相差数十伏。因此，作为后续关键技术的实施基础，需要首先建立风场内部的精细化网络模型，并准确感知风场内部的各种运行状态，含所有风机机端有功、无功和电压分布。

首先可依据风电场现场的电气一次接线图、基建图、设备台账、地理图等资料，搭建风电场内详细的电力网络模型，主要包括风电场升压站内的主变，静态无功补偿装置（Static Var Compensator, SVC）或静态无功发生器（Static Var Generator, SVG），以及风场内各条风机馈线和所有的风机及其箱变等。然后采取戴维南等值法将风电场所在的外部主电网等值为一台等值电压源 E 加一个等值阻抗 Z ，连接到风电场升压站的高压母线上，构成一个完整的等值电力网络模型，如图3所示。其中参数 E 和 Z 都是时变的，其实时数值由基于实时量测的在线参数辨识模块计算而得。

全状态感知是在风电场精细化网络模型及运行实测数据的基础上，对风场内部进行实时状态估计，获得每台风机的机端电压、输出功率以及每条馈线的潮流状态。其结果有3个主要作用：①可为后续在线潮流、安全评估、优化潮流提供初始的风场运行状态。②若发现当前存在风机机端电压越限、馈线过载等不正常运行状态则发出告警，同时进入

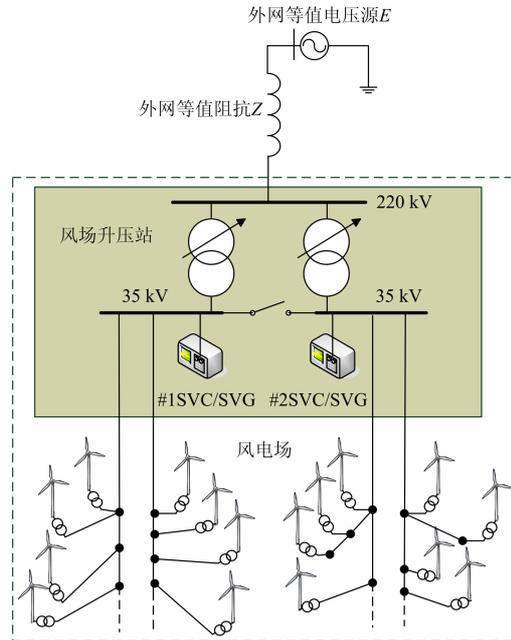


图3 风电场完整电力网络模型

Fig. 3 Integral network model of wind farm

风电场自动发电/电压控制的校正控制模式，防止风机脱网事故发生。③根据当前风场控制设备所处状态计算风场的控制能力，上传控制中心。通常，风场中每条馈线的实时量测中包括了根部电压量测、一对有功/无功量测以及每台连接的风机对应的一对有功/无功输出功率量测，足以确保状态可观性^[13-14]。

2.2 多时间尺度的风功率预测

风功率预测是风电场EMS预测风场未来运行状态的基础，也是为调度中心提供风电场未来发电能力进行实时调度与控制的重要依据。基于风电场功率历史数据、数值天气预报、风机地理分布信息以及风速-功率曲线，结合当前基于物理、统计及组合的各类风功率预测方法^[15-18]，根据调度中心调度决策及风场EMS分析计算需要，在风场EMS中实现多时间尺度的风功率预测，包括日级、小时级、分钟级。

2.3 三维可视化监视

在风电场全状态感知技术的基础上，实现风电场状态的可视化监视，在风电场EMS中为运行人员提供友好的人机交互环境是十分必要的。为了帮助运行人员从海量的风电场运行状态数据中发掘关键信息，以下是将三维可视化技术应用到风场EMS监视模块中的效果图（如图4、图5所示），包括电压分布轮廓视图，管状视图或P/Q分布的潮流箭头视图等^[19-22]。图4和图5分别使用不同颜色深浅以

及线型粗细直观表征电压过高区域或载荷越限的危险馈线段, 调度员可以一目了然地捕获风电场内的危险状态及具体位置。

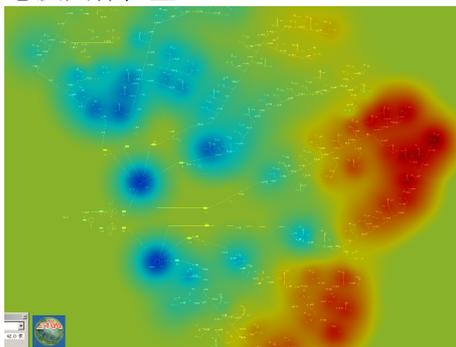


图 4 电压分布轮廓视图

Fig. 4 Distribution of voltage in wind farm

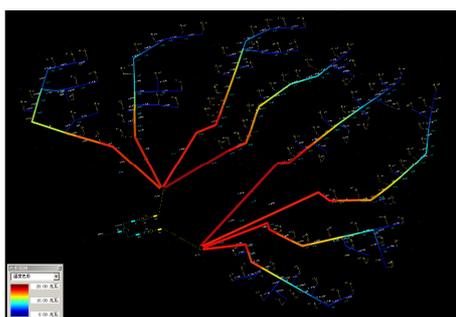


图 5 有功潮流分布管状视图

Fig. 5 Distribution of active power flow in wind farm

2.4 在线潮流

在获得风电场内部详细状态的基础上, 要进一步获得等值外网的运行状态, 并计算控制所需要的灵敏度矩阵信息, 在线潮流计算是不可缺少的环节。同时, 在线潮流还用于安全评估中分析风电场 $N-1$ 故障下的运行状态。风场的网络模型是典型辐射网, 因此基于回路法的配电网潮流算法^[23]作为一种快速实用的方法可以直接使用。

2.5 安全评估

安全评估主要用于在线运行并周期性扫描整个风电网络在 $N-1$ 故障后的运行状态, 包括单台风机脱网、一条馈线退出运行下的整个风场的电压、功率分布。如果发现 $N-1$ 下的潜在不正常运行状态, 则发出安全预警信号, 同时进入风电场自动发电/电压控制的预防控制模式, 预防连锁脱网事故的发生。依据风力预测结果, 安全评估也被用于未来断面(如 15 min 后)的安全评估, 特别用于未来大风断面的安全评估。

2.6 自动发电/电压控制 (AGC/AVC)

AGC/AVC 是整个风场 EMS 的核心, 由其向每台风机、SVC/SVG、并联电容、配备的储能装置等发

出调节指令。在全状态感知及安全分析的基础上, 为应对当前风场不同运行状态下的调整需求, 设计了三种控制模式: a) 校正控制模式, 在风场状态估计后发现当前处于不正常状态下触发, 如存在风机机端电压异常、馈线过载等。b) 协调控制模式, 在当前风场处于安全正常运行状态时触发, 在考虑所有运行约束下尽快跟随控制中心下达的控制目标。c) 预防控制模式, 当安全评估发现安全隐患时触发, 在保证所有运行约束下, 通过调整增强安全裕度, 预防风机脱网事故发生。

3 应用效果分析

本文描述的风电场 EMS 系统已经实现, 其中大部分功能已在华北、西北等多家风电场得到了现场应用。以下通过分析闭环测试中风电场 AVC 的控制效果, 说明风电场 EMS 的有效性。

我国某风电基地目前拥有数十家风电场, 其中风电场 A、B 为两家装机容量均为 100 MW 的风电场, 各通过一条 220 kV 线路连接到同一 220 kV 汇集站, 因此电力系统主网对这两家风电场的影响近似相同, 其中风电场 A 投入了风电场 EMS 的 AVC 闭环控制, 风电场 B 未投入 AVC 闭环控制。风电场 A 的 POC 点控制目标由地调侧 AVC 主站自动下发, 周期为 5 min。风电场 A 的 EMS 则控制场内的 67 台风机和 SVC 设备的电抗支路, 跟踪控制中心下发的控制目标, 控制周期为 10 s。

图 6 所示为 2012 年 5 月 15 日 00:00 到 24:00 两风电场并网点电压对比图。当天风电场 A、B 的有功出力较为相似, 可分为三个阶段:

1) 限电大风阶段 (00:00-09:20)。调度下令限制该区域所有风电场出力均在额定出力的 40% 左右, 在限制出力情况下, 各风电场有功出力较稳定, 电压相对较稳定。

2) 不限电大风阶段 (09:20-19:20)。此阶段, 调度下令取消该区域所有风电场的有功限值, 各风电场有功出力迅速攀升至额定出力的 90% 左右, 电压出现大幅下降和振荡, 但由图 6 可看出 A 风场在 EMS 控制下电压下降和振荡幅度相对较小。

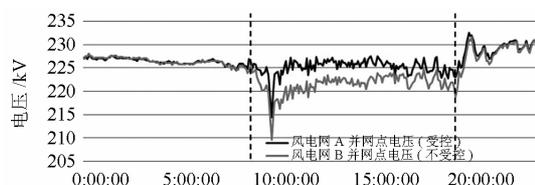


图 6 风电场电压曲线对比 (控制与不控制)

Fig. 6 Comparison of voltage profiles with and without control

3) 不限电小风阶段 (19:20-24:00)。该区域风力在 19:00 后逐渐减弱, 系统电压逐渐上抬, 风电场 A 虽然将其无功减少至最低但仍然无法拉回区域整体电压, 后由该区域调度下令切除多组变电站电容器, 使得该阶段电压呈现明显的锯齿状特点。

由图 7 数据分析可知, 在 EMS 的控制下风电场 A 并网点最大电压差和全天电压波动均优于风电场 B, 实际验证了本文所述风电场 EMS 的电压控制效果。

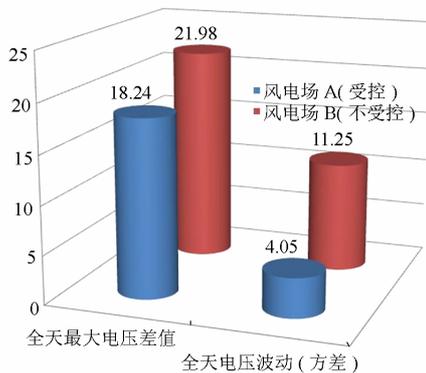


图 7 风电场全天电压质量对比

Fig. 7 Comparison of 24-hour voltage quality

由上述分析可知, A 风电场 EMS 的电压控制效果明显, 相比没有投入风电场 EMS 的风场 B, 其 POC 点电压质量得到明显改善。尤其在风力波动较强时, 地调 AVC 主站以 5 min 为控制周期, 仅通过控制厂站电容投切, 难以对 POC 点进行快速精细控制。而风电场 EMS 能够根据 POC 点电压设定值, 迅速调节风场内部风机、SVC 等装置实现敏捷控制, 控制周期为 10 s, 较好地跟踪 POC 点控制目标值。当然也必须注意到, 由于单一风电场无功容量有限, 其电压受主网影响较大, 若想取得更好的控制效果, 需要区域内更多的风电场共同参与电压的协调控制, 这也凸显了未来在风电场侧推广普及分布式 EMS 系统实现自治控制的迫切需求。

4 结论

本文详细介绍了风电场分布式 EMS 体系架构及其关键技术, 并通过应用实例说明了风场 EMS 运行效果。结论如下:

(1) 风电场本身是一个小型电网, 风场 EMS 的体系架构是对传统 EMS 框架的继承和发展, 其特点在于控制的敏捷性和可靠性, 以适应抑制风电快速波动的需要。

(2) 风场 EMS 能够充分利用本地控制资源 (风

机、SVC、SVG 等), 针对风电波动实施秒级的敏捷性控制, 在可靠追踪调度中心下发的控制目标的同时保证自身的安全可靠运行, 可有效避免发生风机连锁脱网事故的发生。

(3) 本文对风场 EMS 的介绍以及工程应用还是初步的。在风场 EMS 框架下, 其中涉及的各项关键技术仍有待于进一步的深入研究并结合工程应用不断探索以推动风场分布式 EMS 的发展。

参考文献

- [1] DYLIACCO T E. The adaptive reliability control system[J]. IEEE Trans on Power Apparatus & Systems, 1967, PAS-86(5): 517-531.
- [2] 朱凌志, 陈宁, 韩华玲. 风电消纳关键问题及应对措施分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(22): 29-34.
ZHU Ling-zhi, CHEN Ning, HAN Hua-ling. Key problem and solutions of wind power accommodation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(22): 29-34.
- [3] 乔颖, 鲁宗相, 徐飞, 等. 风电场集成监控平台的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(6): 117-123.
QIAO Ying, LU Zong-xiang, XU Fei, et al. Study on the integrated monitoring & control platform of wind farms[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(6): 117-123.
- [4] 魏丽芳, 张睿, 邱健, 等. 含风电场及电铁负荷的地区电网在线电压稳定预警系统[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(9): 75-81.
WEI Li-fang, ZHANG Rui, QIU Jian, et al. An on-line early warning system for voltage stability in regional power grid considering wind power and electrified railway load[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(9): 75-81.
- [5] 王洪涛, 刘雪芳, 负志皓, 等. 含风电场群的区域电网两层多阶段电压协调控制方法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(22): 1-7.
WANG Hong-tao, LIU Xue-fang, YUN Zhi-hao, et al. Two-tier and multi-stage voltage coordination control method for regional power grid with wind farms[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(22): 1-7.
- [6] 乔嘉赓, 鲁宗相, 闵勇, 等. 风电场并网的新型实用等效方法[J]. 电工技术学报, 2009, 24(4): 209-213.
QIAO Jia-geng, LU Zong-xiang, MIN Yong, et al. New dynamic equivalence method for grid-connected wind farm[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(4): 209-213.
- [7] 陈昌松, 段善旭, 殷进军, 等. 基于发电预测的分布式发电能量管理系统[J]. 电工技术学报, 2010, 25(3): 150-156.
CHEN Chang-song, DUAN Shan-xu, YIN Jin-jun, et al.

- Energy management system of distributed generation based on power forecasting[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(3): 150-156.
- [8] 严干贵, 王茂春, 穆钢, 等. 双馈异步风力发电机组联网运行建模及其无功静态调节能力研究[J]. 电工技术学报, 2008, 23(7): 98-104.
YAN Gan-gui, WANG Mao-chun, MU Gang, et al. Modeling of grid-connected doubly-fed induction generator for reactive power static regulation capacity study[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2008, 23(7): 98-104.
- [9] WU F F, MOSLEHI K, BOSE A. Power system control centers: past, present, and future[J]. Proc of the IEEE, 2005, 93(11): 1890-1908.
- [10] BOSE A. Smart transmission grid applications and their supporting infrastructure[J]. IEEE Trans on Smart Grid, 2010, 1(1): 11-19.
- [11] LI Fang-xing, QIAO Wei, SUN Hong-bin, et al. Smart transmission grid: vision and framework[J]. IEEE Trans on Smart Grid, 2010, 1(2): 168-177.
- [12] SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, WU Wen-chuan, et al. Family of energy, management system for smart grid[C] // IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe, Berlin, Germany, Oct.13-18, 2012.
- [13] XIANG Nian-de, WANG Shi-ying, YU Er-keng. An application of estimation-identification approach of multiple bad data in power system state estimation[J]. IEEE Trans on PAS, 1984, PAS-103(2): 225-233.
- [14] ZHANG B M, LO K L. A recursive measurement error estimation identification method for bad data analysis in power system state estimation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1991, PWRS-6(1): 191-198.
- [15] 方江晓, 周晖, 黄梅, 等. 基于统计聚类分析的短期风电功率预测[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(11): 67-73.
FANG Jiang-xiao, ZHOU Hui, HUANG Mei, et al. Short-term wind power prediction based on statistical clustering analysis[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(11): 67-73.
- [16] 范高锋, 王伟胜, 刘纯, 等. 基于人工神经网络的风电功率预测[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(34): 118-123.
FAN Gao-feng, WANG Wei-sheng, LIU Chun, et al. Wind power prediction based on artificial neural network[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(34): 118-123.
- [17] 师洪涛, 杨静玲, 丁茂生, 等. 基于小波 BP 神经网络的短期风电功率预测方法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(16): 44-48.
SHI Hong-tao, YANG Jing-ling, DING Mao-sheng, et al. A short-term wind power prediction method based on wavelet decomposition and BP neural network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(16): 44-48.
- [18] 张国强, 张伯明. 基于组合预测的风电场风速及风电机组功率预测[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(18): 92-95.
ZHANG Guo-qiang, ZHANG Bo-ming. Wind speed and wind turbine output forecast based on combination method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(18): 92-95.
- [19] AZEVEDO G P, SOUZA C S, FEIJÓ B. Enhancing the human-computer interface of power system applications[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(2): 646-653.
- [20] OVERBYE T J, WEBER J D. Visualization of power system data[C] // Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000: 1228-1234.
- [21] KLUMP R, WU W, DOOLEY G. Displaying aggregate data, interrelated quantities, and data trends in electric power systems[C] // Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences, 2003.
- [22] 陈佳, 孙宏斌, 汤磊, 等. 电力系统控制中心三维可视化技术及其实时应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(6): 20-24.
CHEN Jia, SUN Hong-bin, TANG Lei, et al. Three-dimensional visualization technique in power system control centers and its real-time applications[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(6): 20-24.
- [23] WU W C, ZHANG B M. A three-phase power flow algorithm for distribution system power flow based on loop-analysis method[J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2008, 30(1): 8-15.

收稿日期: 2013-11-29

作者简介:

孙宏斌(1969-), 男, 教授, 博士生导师, 教育部长江学者特聘教授, 国家级教学名师, 国家杰出青年科学基金获得者, IET Fellow, 主要从事智能电网能量管理、电力系统调度自动化领域的研究和教学工作;

郭庆来(1979-), 男, 副教授, 主要研究方向为 EMS 高级应用、自动电压控制和电动汽车; E-mail: guoqinglai@tsinghua.edu.cn

吴文传(1973-), 男, 副教授, 主要研究方向为能量管理系统和配网自动化。