

智能电网下的电网安全性与稳定性

李鹏¹, 刘成斌², 姜涛³, 孔祥玉³

(1. 长园深瑞继保自动化有限公司, 广东 深圳 518057; 2. 中国华能集团 江西分公司, 江西 南昌 330029; 3. 智能电网教育部重点实验室(天津大学), 天津 300072)

Power System Security and Stability in Smart Grid

LI Peng¹, LIU Cheng-bin², JIANG Tao³, KONG Xiang-yu³

(1. CYG SUNRI Co., Ltd., Shenzhen 518057, Guangdong, China; 2. Jiangxi Branch Company of China Huaneng Group, Nanchang 330029, Jiangxi, China; 3. Key Laboratory of Smart Grid of Ministry of Education (Tianjin University), Tianjin 300072, China)

ABSTRACT: With the superior performance and great role in promoting the world's economy, smart grid has become the new trend of electric power development in the world. It is considered as the major scientific and technological innovation for the power system in the 21st century. The emergence of the smart grid will have great influence on the power system security and stability analysis and control. This paper firstly describes the development, aim and characteristics of smart grid in China, discusses the security and stability analysis and control of the power system, intelligent dispatching and control under the environment of smart grid and new issues caused by the large-scale integration of wind power and distributed generation and finally puts forward the corresponding countermeasures.

KEY WORDS: smart grid; security and stability; large-scale power grid; intelligent dispatching; large-scale wind power; distributed generation

摘要: 智能电网由于其优越的性能, 对世界经济具有巨大促进作用, 正成为当今世界电力发展的最新趋势, 被认为是21世纪电力系统的重大科技创新。智能电网的出现将对已有的电网安全稳定分析与控制带来较大影响。介绍了中国智能电网的发展、目标和特征, 讨论了在智能电网环境下电力系统安全稳定分析与控制、智能调度、大规模风电接入、分布式发电所带来的新问题, 并给出了相应的对策。

关键词: 智能电网; 安全稳定; 大电网; 智能调度; 大规模风电; 分布式发电

从智能电网概念的发展过程来看, 到目前为止, 智能电网还没有一个统一、清晰的定义, 仍处于初期研究阶段^[1]。但是各国专家对未来电网的特点已达成共识, 即自愈、安全、兼容、交互、协调、高效、优质、集成等^[2-3]。只是由于发展环境和驱动因素不同, 各个国家的电网企业和组织都以自己方式构建符合本国特色的智能电网, 在对智能电网进行研究和实践时, 各国智能电网发展的思路、路径和重点也各不相同^[4-7]。

欧美发达国家由于各自的电网结构已经比较坚强, 负荷增长较为缓慢, 因而这些国家更加重视用户侧和新能源的接入^[2-7]。而中国正处于经济高速发展时期, 负荷增长很快、能源分布极不均匀, 电网结构较薄弱且变化很快。因而研究的重点是加快建立特高压骨干网架, 运用大量新技术提高电网的安全稳定水平, 为中国经济的飞速发展提供安全、可靠、经济的电能。

本文结合中国实际, 从特大电网的安全稳定控制、智能调度、大规模风电的接入、分布式发电四个方面探讨了智能电网环境下的电网安全稳定分析应该重视的一些问题, 并初步提出一些建议。

1 中国智能电网介绍

中国的智能电网研究与国外相比起步较晚, 但

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2009CB 219700); 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2011AA 05A115); 国家自然科学基金项目(51107086)。

Project Supported by National Key Basic Research Development Program Project (973 Program) (2009CB219700); National High Technology Research and Development Program of China(863 Program) (2011AA05 A115); National Natural Science Foundation of China (51107086).

目前已经取得了各界的重视,并提出了自己的发展目标和规划。

1.1 中国智能电网的发展

2007年10月,华东电网正式启动了智能电网可行性研究项目,并规划了从2008年至2030年的“三步走”战略,即:在2010年初步建成电网高级调度中心,2020年全面建成具有初步智能特性的数字化电网,2030年真正建成具有自愈能力的智能电网。该项目的启动标志着中国开始进入智能电网领域。

2009年2月28日,作为华北公司智能化电网建设的一部分——华北电网稳态、动态、暂态三位一体安全防御及全过程发电控制系统在京通过专家组的验收。这套系统首次将以往分散的能量管理系统、电网广域动态监测系统、在线稳定分析预警系统高度集成,调度人员无需在不同系统和平台间频繁切换,便可实现对电网综合运行情况的全景监视并获取辅助决策支持。此外,该系统通过搭建并网电厂管理考核和辅助服务市场品质分析平台,能有效提升调度部门对并网电厂管理的标准化和流程化水平。

2009年5月21日—22日,在“2009特高压输电技术国际会议”上,国家电网公司公布了中国特色智能电网内涵的定义:“国家电网将立足自主创新,加快建设以特高压电网为骨干网架,各级电网协调发展,具有信息化、数字化、自动化、互动化特征的统一的坚强智能电网。”并提出智能电网建设的3个阶段,标志着国家将大力推进智能电网建设。

2010年6月29日,国家电网公司发布了《智能电网标准体系规划》和《智能电网关键设备(系统)研制规划》,并计划在2012年—2015年对所需标准进行补充修订,基本建成智能电网标准体系。初步确定在电动汽车、物联网及传感器、智能城市和大容量储能系统4个方面开展标准的研究和制定工作。同时向国际电工组织(IEC)提出了多项标准提案并获批准,标志着中国正式启动了智能电网国际标准进程,这些标准将在未来全球智能电网标准体系中占据重要地位。

1.2 中国智能电网的目标和特性

建设中国智能电网不能照搬美国及其他发达国家的模式,必须紧密结合国家经济社会和能源分布特点,以提高电力系统的安全性、可靠性和经济性,降低用户的电费支出并提高用户侧的电能质

量,同时提高能源的利用效率,实现节能减排为目标,从国家、电网公司和用户三个角度阐述了智能电网的目标。

中国智能电网的特征是信息化、数字化、自动化、互动化,简称智能电网的“四化”。信息化就是各种实时和非实时信息的高度集成、共享和利用;数字化就是电网对象、结构及状态的定量描述和各类信息的精确高效采集与传输;自动化就是电网控制策略的自动优选、运行状态的自动监控和故障状态的自动恢复;互动化就是电源、电网和用户资源的友好互动和协调运行^[9]。

2 智能电网环境下的电力系统安全稳定分析与控制

智能电网由于其特性不同,给电力系统安全稳定分析与控制带来了一定影响,也带来一些新的内容。下面就特大电网的安全稳定分析与控制、智能调度对电网安全稳定分析软件的要求、大规模风电的接入、分布式发电4个方面来讨论智能电网为电力系统安全稳定分析带来的一些新课题,并初步给出一些建议。

2.1 特大电网的安全稳定控制

中国的智能电网首先就是要求加快建设以特高压电网为骨干网架,根据超高压电网形成的过程规律和特高压输电的作用,以及国家发电资源和负荷中心的地理分布特点,建设以特高压电网为骨干网架的国家电网,是中国电力工业可持续发展的科学选择。根据规划,截止2020年,华东、华中、华北将通过坚强的交流特高压网架相联成特大同步电网,蒙西、陕北、晋东南、内蒙锡盟、宁夏和关中煤电基地将以交流特高压分散接入到南北方向多条大通道上;四川水电经交流特高压通道向重庆、华中和华东输送;淮南坑口电站和徐州坑口电站也接入特高压输电网架中间枢纽点上。同时,大型水电和煤电基地超远距离送电还将采用特高压直流输电方式。届时,中国智能电网的骨干网架将完全形成。随着电网结构越来越复杂,电网潜在的破坏安全稳定的事故也越来越多,控制系统也越来越复杂^[9]。

根据国家电网规划,2020年前为特高压建设的高峰期,也是形成特高压电网的过渡期。在这期间,电网结构变化很快,潮流变化复杂,因而对特高压

电网过渡期间的电网安全稳定分析与控制的研究显得尤为重要。安全稳定控制策略的制定和协调十分复杂,需重视多馈入直流系统的安全稳定特性及控制策略研究、特高压交直流并列输电的安全稳定特性及控制策略研究、“三华”特大同步电网的安全稳定特性及控制策略研究等。过渡期间电网结构变化很快,在制定控制策略时应考虑时空的协调。时间的协调就是指所制定的控制策略应尽量满足电网结构随时间变化的需求,已有的安全稳定控制策略不做修改或仅做较小的修改就能满足新电网结构的要求。空间的协调就是指电气距离相近的控制装置间应协调优化。

2020年特高压交直流互联特大电网形成以后,电网结构相对稳定,此时需将电网的第二道及第三道防线进行统一的全面的优化,而且考虑到智能电网信息化、数字化的实现,可以利用的信息极多,通信通道也得到完善,制定控制策略时就可以充分利用这些特点,使得各道防线间的优化也成为可能。因而特大电网形成以后,各道防线的协调优化将是一个非常重要的研究课题。

2.2 智能调度对电网安全稳定分析软件的要求

智能调度是智能电网的最重要组成部分,也是最复杂的部分。文献[10]强调随着智能电网“四化”的完善,所有的电气量信息、保护、调节和控制装置的定值和实际状态信息、电厂信息、用户信息将实时传送至调度平台。仅凭调度人员在海量的信息中发现潜在风险将十分困难,因而需要强大的电力系统安全稳定分析软件,来处理这些信息并将结果方便的显示出来,便于运行人员分析和决策,为智能调度服务。这些都对电力系统安全稳定分析和预防控制软件提出新的挑战。文献[11]指出智能调度是一个高度实时智能在线、高度感知可视化、高度一体化协调控制的电网调度体系。文献[12]认为智能电网控制中心应在时间、空间、控制目标等3个方面进行协调控制。因此,与传统的安全稳定分析软件相比,智能电网环境下的电力系统安全稳定分析与预防控制软件系统还应该具有以下功能:

- 1) 进行量化分析,给出各种状态的安全稳定裕度。
- 2) 快速的筛选、处理、分析大量的数据,满足在线分析的需求。
- 3) 动态监视电网的运行状态,并提供各种直

观、准确、方便的可视化表现手段。

4) 发现各种潜在的安全威胁,提供各种安全威胁发生后的控制策略和控制后的安全稳定裕度。

5) 在线监视和分析低频振荡,实时监控振荡模式的变化。

6) 对电网的各种扰动精确的识别。

7) 具有自动调整和优化功能,当监测到一个运行方式稳定裕度过低时,能自动地做出调整使稳定裕度更高,并将调整过程和结果显示给调度人员。

2.3 大规模风电的接入

严格地说,风力发电也属于分布式发电。但中国将要建设的是千万千瓦级风电基地,单个风电场容量要远远大于一般的分布式发电,独具特性,因而有必要将大规模风电单独讨论。

风力发电技术以其无污染、施工周期短、投资灵活、占地少、造价低等特点,受到世界各国的高度重视。国家也加大了对风力发电的重视,智能电网更是大力提倡新能源尤其风力发电。据中投顾问能源行业研究部最新数据分析显示,截止2008年底,中国风电装机总容量达到1 221万kW,已占全球总装机的10%,名列全球第四,见图1。仅2008年,中国新增风电装机容量就达630万kW,新增量位列全球第二,仅次于美国的838万kW。根据规划,国家将在甘肃酒泉、江苏沿海和内蒙古等地建设若干个千万千瓦基地,打造“风电三峡工程”。目前,甘肃酒泉地区千万千瓦级风电基地建设已全面启动,内蒙古、河北、新疆、江苏沿海等千万千瓦级风电基地的规划工作也已相继展开。



图1 风电总装机容量前十位国家

Fig. 1 The top ten countries in terms of the total installed capacity of wind power

由于风电机组出力的不稳定性和目前的电网结构还不够坚强,大规模风电的接入给电网的安全稳定运行带来严重挑战,也极大地制约了大规模风电的并网。大规模风电的接入给电网带来的影响主要体现在以下2个方面^[13-16]:

2.3.1 局部性问题

当地电网接入风电后,其电能质量会恶化甚至出现不稳定现象,针对该问题可以采取的措施有:

1) 详细建立各类风电机组的模型,分析其静态和动态特性,进而对某个特定的风电场制定合适的建模方法(是以单个风电机组为对象还是以风电场这个整体为对象来建模),分析风电场的静态和动态特性,从而为风电场无功补偿的配置提供依据,选择合适的无功补偿方式和补偿量。

2) 考虑采用轻型直流输电(VSC-HVDC)实现风电场并网。轻型直流输电对交流电压的控制能力很强,风流发生变化时,能够采取一定的控制策略将电压稳定在常数值;轻型直流输电还能够很方便地满足新机组的加入。

2.3.2 全局性问题

某一区域电网接入风电过多后,会给调峰、调频、调度方面带来困难。

针对该问题可以采取的措施有:

1) 加快建设合理的电网结构,合理的电源构成,改善风电并网的外部环境。

2) 尽快掌握预测风力大小的方法,建立完整的区域测风网络,提高风电功率的预测精度,提前精确地预测未来一段时间的风电出力,为对电网内其他机组的出力进行合理调配提供依据。

2.4 分布式电源的接入

智能电网将容许各种不同类型的发电及储能系统能够方便的接入系统,各种不同容量的分布式发电(如光伏发电、小容量风电、小水电)和储能系统(如先进的电池系统、蓄能式混合动力交通工具和燃料电池)在所有的电压等级上都可以互联,实现“即插即用”。文献[17]指出了分布发电的特点:一是安全、高效、经济、环保是供电安全防护和应急处理的理想设施;二是投资少、回收快。商业用户可以安装自己的发电设备(包括高效热电联产装置)和电力储能设施将更加容易和更加有利可图。文献[18]认为在智能电网的发展过程中,配电网需要从被动式的网络向主动式的网络转变,这种网络利于分布式发电的参与,能更有效地连接发电侧和用户侧,使得双方都能实时地参与电力系统的优化运行。各种各样的分布式电源的接入一方面减少对外来能源的依赖,另一方面提高供电可靠性,特别是对应对战争和恐怖袭击具有重要的意义。但是,大

量的此类分布式电源对电网提出了严峻挑战,也对地区系统安全稳定分析与控制带来极大困难。

国内外对分布式发电已有很多研究,并取得相应成果,但大都是讨论分布式电源的定义、分类、优缺点、并网标准、单个电源给电网带来的影响及控制策略^[19-20],而对电力系统安全稳定分析带来的影响却很少讨论。

目前,分布式发电接入系统的容量较小,对系统的影响也较小。但是随着智能电网的发展,电网公司对环境、输电经济性和可靠性的重视,分布式发电必然在智能电网中占有越来越重要的地位,分布式发电的容量也将越来越大。当某个地区含有较多的分布式发电时,对该地区电网进行安全稳定分析时就必须考虑这些大量分布式发电的影响。因而需要对以下问题做进一步的研究:

1) 对各类分布式电源的并网标准做进一步研究。

2) 对各类分布式电源的建模方法、参数选取做进一步研究。

3) 分析各类分布式电源的静态和动态特性。

4) 对地区电网中的大量分布式电源的等值方法进行研究。

3 结论

智能电网作为当今世界电力系统发展的最新趋势,与传统电网相比具有其独特的性能和特点,其安全稳定分析与控制的内容将更加宽广而复杂,而且可以利用的信息也将更多。本文首先分析了中国智能电网发展、目标和特征,然后结合特大电网的安全稳定分析与控制、智能调度对电网安全稳定分析软件的要求、大规模风电的接入、分布式发电4个方面讨论了智能电网给电力系统安全稳定分析与控制带来的影响。主要结论如下:

1) 描述了中国智能电网要求下特高压网架的规划情况,指出了特高压网架过渡期间及形成以后,特大电网安全稳定分析与控制几个重要课题并指出应该注意的一些问题。

2) 指出了智能调度系统中的在线安全稳定与预防控制软件系统应该具有的一些重要功能。

3) 指出了智能电网环境下大规模风电的接入对系统的两个方面影响,并对每种影响提出了一些

解决思路。

4) 指出了智能电网环境下,大量分布式发电接入系统后对地区电网安全稳定分析与控制的影响,列出了几点研究方向。

参考文献

- [1] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(9): 1-4.
XIAO Shi-jie. Consideration of technology for constructing chinese smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(9): 1-4 (in Chinese).
- [2] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(1): 7-11.
YU Yi-xin, LUAN Wen-peng. Smart grid[J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25(1): 7-11 (in Chinese).
- [3] 胡学浩. 智能电网:未来电网的发展态势[J]. 电网技术, 2009, 33(14): 1-5.
HU Xue-hao. Smart grid: A development trend of future power grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(14): 1-5 (in Chinese).
- [4] 余贻鑫. 智能电网的技术组成和实现顺序[J]. 南方电网技术, 2009, 3(2): 1-5.
YU Yi-xin. Technical composition of smart grid and its implementation sequence[J]. Southern Power System Technology, 2009, 3(2): 1-5 (in Chinese).
- [5] 常康, 薛峰, 杨卫东. 中国智能电网基本特征及其技术进展评述[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 10-15.
CHANG Kang, XUE Feng, YANG Wei-dong. Review on the basic characteristics and its technical progress of smart grid in china[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 10-15 (in Chinese).
- [6] 钟金, 郑睿敏, 杨卫红, 等. 建设信息时代的智能电网[J]. 电网技术, 2009, 33(13): 12-18.
ZHONG Jin, ZHENG Rui-min, YANG Wei-hong, et al. Construction of smart grid at information age[J]. Power System Technology, 2009, 33(13): 12-18 (in Chinese).
- [7] 林宇锋, 钟金, 吴复立. 智能电网技术体系探讨[J]. 电网技术, 2009, 33(12): 8-14.
LIN Yu-feng, ZHONG Jin, WU Fu-li. Discussion on smart grid supporting technologies[J]. Power System Technology, 2009, 33(12): 8-14 (in Chinese).
- [8] 舒印彪, 张文亮, 周孝信, 等. 特高压同步电网安全性评估[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(34): 1-6.
SHU Yin-biao, ZHANG Wen-liang, ZHOU Xiao-xin, et al. Security evaluation of UHV synchronized power grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(34): 1-6 (in Chinese).
- [9] 苗新, 张恺, 田世明, 等. 支撑智能电网的信息通信体系[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 8-13.
MIAO Xin, ZHANG Kai, TIAN Shi-ming. Information communication system supporting smart grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 8-13 (in Chinese).
- [10] 周华锋, 李鹏, 胡荣, 等. 南方电网调度智能化关键技术研究[J]. 南方电网技术, 2011, 5(1): 14-17.
ZHOU Hua-feng, LI Peng, HU Rong, et al. Research on the key technologies of intelligent dispatching system for china southern power grid[J]. Southern Power System Technology, 2011, 5(1): 14-17 (in Chinese).
- [11] 张伯明, 孙宏斌, 吴文传, 等. 智能电网控制中心技术的未来发展[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 21-27.
ZHANG Bo-ming, SUN Hong-bin, WU Wen-chuan, et al. Future development of control center technologies for smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 21-27 (in Chinese).
- [12] 姚建国, 严胜, 杨胜春, 等. 中国特色智能调度的实践与展望[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 16-20.
YAO Jian-guo, YAN Sheng, YANG Sheng-chun, et al. Practice and prospects of intelligent dispatch with chinese characteristics[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 16-20 (in Chinese).
- [13] 张红光, 张粒子. 风电场接入电网的安全稳定分析[J]. 中国电力, 2007, 40(5): 105-109.
ZHANG Hong-guang, ZHANG Li-zi. Analysis on security and stability of integration of wind farms into power systems[J]. Electric Power, 2007, 40(5): 105-109 (in Chinese).
- [14] 迟永宁, 刘燕华, 王伟胜, 等. 风电接入对电力系统的影响[J]. 电网技术, 2007, 31(3): 77-81.
CHI Yong-ning, LIU Yan-hua, WANG Wei-sheng, et al. Study on impact of wind power integration on power system[J]. Power System Technology, 2007, 31(3): 77-81 (in Chinese).
- [15] 姚伟, 程时杰, 文劲宇. 直流输电技术在海上风电场并网中的应用[J]. 中国电力, 2007, 40(10): 70-74.
YAO Wei, CHENG Shi-jie, WEN Jin-yu. Application of HVDC technology in grid integration of offshore wind farms[J]. Electric Power, 2007, 40(10): 70-74 (in Chinese).
- [16] 范高峰, 王伟胜, 刘纯. 基于人工神经网络的风电功率短期预测系统[J]. 电网技术, 2008, 32(22): 72-75.
FAN Gao-feng, WANG Wei-sheng, LIU Chun. Artificial neural network based wind power short term prediction system[J]. Power System Technology, 2008, 32(22): 72-75 (in Chinese).

(下转第42页)

- (17): 16-19 (in Chinese).
- [8] 董峰, 鞠平. 进化策略方法在电力系统无功优化中的应用[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2000(5): 30-33.
DONG Feng, JU Ping. Application of evolution strategy methods to reactive power optimization of power systems[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2000(5): 30-33 (in Chinese).
- [9] 夏可青, 赵明奇, 李扬. 用于多目标无功优化的自适应遗传算法[J]. 电网技术, 2006(13): 55-60.
XIA Ke-qing, ZHAO Ming-qi, LI Yang. A self-adaptive genetic algorithm for multi-objective reactive power optimization[J]. Power System Technology, 2006(13): 30-33 (in Chinese).
- [10] 聂宏展, 张冰冰, 王新, 等. 基于改进粒子群优化算法的电力市场下的无功优化[J]. 电网技术, 2007(21): 85-90.
NIE Hong-zhan, ZHANG Bing-bing, WANG Xin, et al. Research on MPSO algorithm based reactive power optimization in electricity market[J]. Power System Technology, 2007(21): 85-90 (in Chinese).
- [11] 程莹, 刘明波. 含离散控制变量的大规模电力系统无功优化[J]. 中国电机工程学报, 2002(5): 54-60.
CHENG Ying, LIU Ming-bo. Reactive-power optimization of large-scale power systems with discrete control variables[J]. Proceedings of the CSEE, 2002(5): 54-60 (in Chinese).
- [12] Runarsson T P, Xin Y. Stochastic ranking for constrained evolutionary optimization[J]. Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, 2000, 4(3): 284-294.
- [13] ABDULLAH N R H, MUSIRIN I, MURTHADA M. Constrained reactive power control using evolutionary computation technique for static security enhancement [C]// 2009 Second International Conference on Computer and Electrical Engineering, Dubai: EECS, 2009: 612-616.
- [14] JOINES J A, HOUCK C R. On the use of non-stationary penalty functions to solve nonlinear constrained optimization problems with GA's [C]// Proceedings of the first IEEE conference on evolutionary computation, Orlando, Florida: IEEE, 1994: 579-584.
- [15] SCHWEFEL H P. Evolution and Optimum Seeking[M]. Berlin: A Wiley-Inter science Publication John Wiley & Sons Inc, 1994.
- [16] 张伯明. 高等电力网络分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996: 323-328.

收稿日期: 2012-11-05.

作者简介:

冯兴明 (1987—), 男, 硕士, 主要研究方向为配电网经济运行分析与控制。

(编辑 李沈)

(上接第37页)

- [17] 雷金勇, 李战鹰, 卢泽汉, 等. 分布式发电技术及其对电力系统影响研究综述[J]. 南方电网技术, 2011, 5(4): 46-50.
LEI Jin-yong, LI Zhan-ying, LU Ze-han, et al. Review on the research of distributed generation technology and its impacts on electric power system[J]. Southern Power System Technology, 2011, 5(4): 46-50 (in Chinese).
- [18] 余贻鑫. 新形势下的智能配电网[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(7): 1-3.
YU Yi-xin. Intelligent distribution network in the new situation[J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25(7): 1-3 (in Chinese).
- [19] 张沛. 电力系统分布式资源整合概述[J]. 南方电网技术, 2008, 2(8): 56-58.
ZHANG Pei. Overview of integrating distributed resources into power systems[J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(8): 56-58 (in Chinese).
- [20] 王成山, 高菲, 李鹏, 等. 可再生能源与分布式发电接入技术欧盟研究项目述评[J]. 南方电网技术, 2008, 2(6): 1-6.
WANG Cheng-shan, GAO Fei, LI Peng, et al. Review on the EU research projects of integration of renewable energy sources and distributed generation[J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(6): 1-6 (in Chinese).

收稿日期: 2012-07-09.

作者简介:

李 鹏 (1977—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统智能调度、配电网自动化;

刘成斌 (1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统运行与规划;

姜 涛 (1983—), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统稳定与控制、新能源集成;

孔祥玉 (1979—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为电力系统稳定与控制、智能电网。

(编辑 董小兵)

作者: 李鹏, 刘成斌, 姜涛, 孔祥玉, LI Peng, LIU Cheng-bin, JIANG Tao, KONG Xiang-yu
 作者单位: 李鹏, LI Peng (长园深瑞继保自动化有限公司, 广东深圳, 518057), 刘成斌, LIU Cheng-bin (中国华能集团江西分公司, 江西南昌, 330029), 姜涛, 孔祥玉, JIANG Tao, KONG Xiang-yu (智能电网教育部重点实验室(天津大学), 天津, 300072)
 刊名: 电网与清洁能源
 英文刊名: Advances of Power System & Hydroelectric Engineering
 年, 卷(期): 2013, 29(2)

参考文献(20条)

1. 肖世杰 构建中国智能电网技术思考[期刊论文]-电力系统自动化 2009(09)
2. 余贻鑫; 栾文鹏 智能电网[期刊论文]-电网与清洁能源 2009(01)
3. 胡学浩 智能电网: 未来电网的发展态势[期刊论文]-电网技术 2009(14)
4. 余贻鑫 智能电网的技术组成和实现顺序[期刊论文]-南方电网技术 2009(02)
5. 常康; 薛峰; 杨卫东 中国智能电网基本特征及其技术进展评述[期刊论文]-电力系统自动化 2009(17)
6. 钟金; 郑睿敏; 杨卫红 建设信息时代的智能电网[期刊论文]-电网技术 2009(13)
7. 林宇峰; 钟金; 吴复立 智能电网技术体系探讨[期刊论文]-电网技术 2009(12)
8. 舒印彪; 张文亮; 周孝信 特高压同步电网安全性评估[期刊论文]-中国电机工程学报 2007(34)
9. 苗新; 张恺; 田世明 支撑智能电网的信息通信体系[期刊论文]-电网技术 2009(17)
10. 周华锋; 李鹏; 胡荣 南方电网调度智能化关键技术研究[期刊论文]-南方电网技术 2011(01)
11. 张伯明; 孙宏斌; 吴文传 智能电网控制中心技术的未来发展[期刊论文]-电力系统自动化 2009(17)
12. 姚建国; 严胜; 杨胜春 中国特色智能调度的实践与展望[期刊论文]-电力系统自动化 2009(17)
13. 张红光; 张粒子 风电场接入电网的安全稳定分析[期刊论文]-中国电力 2007(05)
14. 迟永宁; 刘燕华; 王伟胜 风电接入对电力系统的影响[期刊论文]-电网技术 2007(03)
15. 姚伟; 程时杰; 文劲宇 直流输电技术在海上风电场并网中的应用[期刊论文]-中国电力 2007(10)
16. 范高峰; 王伟胜; 刘纯 基于神经网络的风电功率短期预测系统[期刊论文]-电网技术 2008(22)
17. 雷金勇; 李战鹰; 卢泽汉 分布式发电技术及其对电力系统影响研究综述[期刊论文]-南方电网技术 2011(04)
18. 余贻鑫 新形势下的智能配电网[期刊论文]-电网与清洁能源 2009(07)
19. 张沛 电力系统分布式资源整合概述[期刊论文]-南方电网技术 2008(08)
20. 王成山; 高菲; 李鹏 可再生能源与分布式发电接入技术欧盟研究项目述评[期刊论文]-南方电网技术 2008(06)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_sxslfd201302007.aspx