

智能电网开启电网运行新形式

牛朋超¹, 康积涛², 李爱武³, 李林⁴

(1. 湖北省交通规划设计院, 湖北 武汉 430051; 2. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031;
3. 广东电网公司, 广东 韶关 512000; 4. 安徽电网公司, 安徽 宣城 242000)

摘要: 讨论了智能电网 (Smart Grid) 的定义、特点、组织架构, 总结出了智能电网具有的四个特点。详细给出了智能电网两种形式的组织架构图, 并就两种网络架构图做了具体的分析, 从“硬件”、“软件”和电力系统稳定性理论三方面指出了建设智能电网面临的技术挑战。总结得出了两点结论: 一是鉴于智能电网的诸多优点认为建设坚强的智能电网是必然选择; 二是强调了智能电网标准的变化性, 认为电力系统稳定性理论的完善和发展是其智能化提高的核心动力所在。

关键词: 智能电网; 网络架构图; 电力系统稳定性; 智能电网标准; 智能化

New operation form of power network started by smart grid

NIU Peng-chao¹, KANG Ji-tao², LI Ai-wu³, LI Lin⁴

(1. Hubei Province Communication Planning Design Institute, Wuhan 430051, China; 2. Department of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 3. Guangdong Power Grid, Shaoguan 512000, China; 4. Anhui Power Grid, Xuancheng 242000, China)

Abstract: This paper discusses the definition, characteristics, organizational structure of the smart grid, and summarizes four characteristics of the smart grid. Two forms of organization charts are given and analyzed in detail. It points out the technical challenges of setting up smart grid from “hardware”, “software” and system stability theory. Finally, two conclusions are reached: one is building strong smart grid is determined by current situation in view of its advantages, and the other is that the standard system is variable and the internal factor of improving intelligence of smart grid lies in the development of power network stability theory.

Key words: smart grid; network architecture diagram; power network stability; smart grid standard; intelligent

中图分类号: TM732 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)19-0240-05

0 引言

电能是一种以光速运行的能源, 其特点决定了电能的产生、传输、分配和使用几乎是同时进行的, 三者构成了一个连续而又始终处于动态平衡中的统一体。近些年来, 大型电力系统及其互联在优化资源配置、提高电能质量的同时, 也带来了运行的复杂性, 面临着许多突出的问题, 其中稳定性降低 (甚至丧失) 的问题最为突出, 文献[1-2]例举了电力系统因崩溃而造成的大停电事故, 给有关国家和地区造成了巨大的损失, 这些事故促使电力从业人员不断思考: 是否能利用现有的新技术, 通过改造电力系统的构造来改善电力系统的运行方式, 以达到提高电力系统可靠性和运行效率的目的?

关于电网运行方式改进的研究, 国外开展了关于 IntelliGrid (智能化电网)、Self-Healing Grid (自

愈电网)、Smart Grid (智能电网)、Intelligent Unity Network (智能单元电网)、IDAPS (智能分散式自律电力系统) 等相关研究^[3-7], 虽然使用的名称各不相同, 但都强调电力系统运行的智能化和网络化, 国外目前对于智能电网的研究已经进入规划试验阶段, 并且为将来规模化投入做好了准备, 文献[8]分析了未来建立包含智能电网和可再生能源的能量传输框架的可行性和紧迫性。2009年5月, 中国国家电网公司公布了以信息化、数字化、自动化和互动化为特征的“坚强智能电网”为特征的研究成果, 紧接着又推出了智能电网的规划, 并且决定建设上海世博园试点智能电网, 未来, 我国还将参与制定智能电网的标准体系。

1 SG 的定义、特点和组织架构

在智能电网的众多名称中, 目前使用最多的是

“Smart Grid”(SG), 本文也使用“Smart Grid”来表示智能电网。

1.1 SG的定义

文献[9]给出的 IBM 关于智能电网定义为:“运用先进的网络分析及新的智能化技术手段, 将电力企业的各种设备、控制系统、生产任务及工作人员有机地联系在一起, 在一种“公共信息模型”(Common Information Model, CIM)的基础上自动收集和存储数据, 对供电系统的运行及电力企业的经营管理进行全面、深入的分析, 客观正确地优化其资产管理和供电服务”。

根据美国能源部现代电网委员会的说法, 智能电网是将先进的传感技术、控制理论、通信等先进技术集成到现行的电力系统的输配电领域的一项综合技术^[8]。

“以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强电网为基础, 利用先进的通信、信息和控制技术, 构建以信息化、自动化、互动化为特征的统一坚强智能化电网。”这是中国国家电网公司给出的智能电网的定义。

从以上三种目前关于智能电网的最具代表性的定义来看, 各方对于智能电网的定义都是以各自拥有的实际物理电网为出发点, 通过寻求与现代相关技术的有机结合达到智能化, 从而实现电网的坚强和智能, 实际上是把网络通信技术应用到互联的电力系统中来, 然而, 这些新技术的应用并没有改变电网的原有的形态和电力系统运行规律, 只是对电网运行性能的优化和提高。

1.2 SG的特点

综合文献[10]智能电网的特点, 未来的智能电网应该具有以下共同特点:

- (1) 具有坚强的网络结构, 装备大量的智能元件;
- (2) 信息流能在系统网络中快速而准确的采集、传输、交换和执行;
- (3) 能够提供足够的满足多元化用电要求的电能产品;
- (4) SG 运行效率较之于现有电网有了显著提高, 电力企业与用户的交互性更强。

特点(1)实际上是从硬件角度出发的, 坚强的网络结构不仅要求 SG 能及时发现在一定程度上抵御各种外界干扰, 如暴风雪的袭击、人为的恐怖袭击等, 而且当电网处于故障运行中时, 能从中解脱出来, 以减少损失。特点(2)从软件角度体现了智能电网网络化的特点, 电网网络化必然涉及到各

种信息处理, 如: 状态信息、命令信息、属性信息、互动信息和历史信息等等, 值得一提的是, 在不同层次信息平台上, 这些信息的处理最终会实现可视化, 从而大大方便电力系统从业人员的操作。特点

(3)则是从智能电网作为现代电力市场的重要组成部分, 就其输出而言, 智能电网须满足经济不断发展对电能的大量需求, 而且还要适应因各种新负荷的存在对电网造成的冲击, 在此基础上, 为它们提供满足要求的电能产品。特点(4)表现在: SG 通过调节发电方式选择、实现电能市场化、优化分配电能和降低电网的设备总投资, 从而保证其本身处于高效率的运行当中, 而电力企业和用户的更强的交互性, 使得用户可以根据所看到的整个区域的电力供求状况来调整用电量和用电时段, 这样就进一步优化了电能分配。

1.3 SG的组织架构

下面给出两种形式的智能电网组织架构图: 如图 1 和图 2 所示。

图中 AMI 为先进的测量设备; CDCC 为中央数据库控制中心; ACC、CCC 分别为中央控制中心、区域控制中心; CF 为控制平台; DGSCD 为分布式发电智能控制装置; GSCD 为发电控制装置; TSCD 为传输智能控制装置; LSCD 为负荷智能控制装置; DG 为分布式发电; 粗实线表示电网传输线路, 虚线表示通信控制线路。

图 1 是一种智能化程度高的组织架构图, 智能电网中所有的起控制作用的智能元件和测量装置都直接与 CDCC 链接, 智能电网的智能作用分散在各个智能元件中, 其工作方式是: 每一个 SCD 都是一个自律单元, 其内部有很多用户程序模块(对应着各种智能功能), 用来处理来自 CDCC 数据(如: 命令信息等), 每一个 SCD 都能实现自我管理, 本身的工作状态(故障、接入、退出)不会对其他 SCD 产生影响, 这种系统能在线解决系统扩展、维护、容错, 这一点对于未来的智能电网来说是至关重要的。有关自律分散系统的详细信息请参见文献[11]。

图 2 是一种智能化程度较低的组织架构图, 采用的是集中分层式, 其工作方式是: 各种数据需要逐层向上传播, 然后由位于控制中心的用户程序完成数据处理, 最后处理结果(命令信息)再逐层传播到各个控制装置 SCD(与图 1 中的 SCD 有很大区别)。各个控制平台之间相互影响, 一个出现故障必然对其他造成影响, 并且控制中心出现故障将使整个系统瘫痪。这种系统运行稳定性较差, 维护繁琐, 容错能力差。

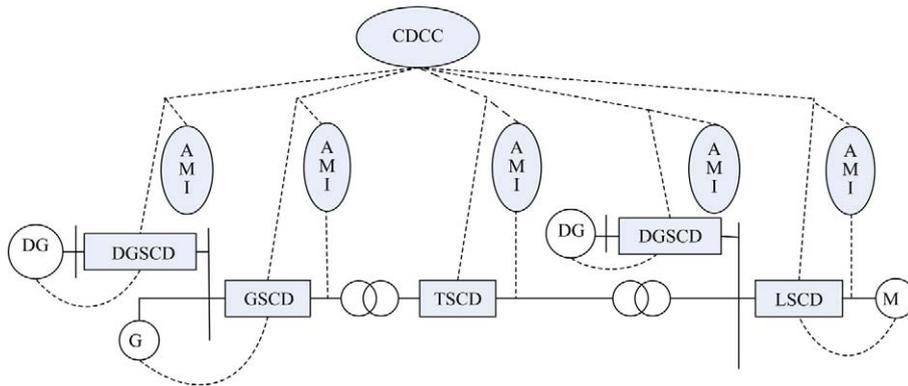


图 1 智能电网组织结构图—自律分散式

Fig.1 Architecture diagram of smart grid—autonomous decentralized

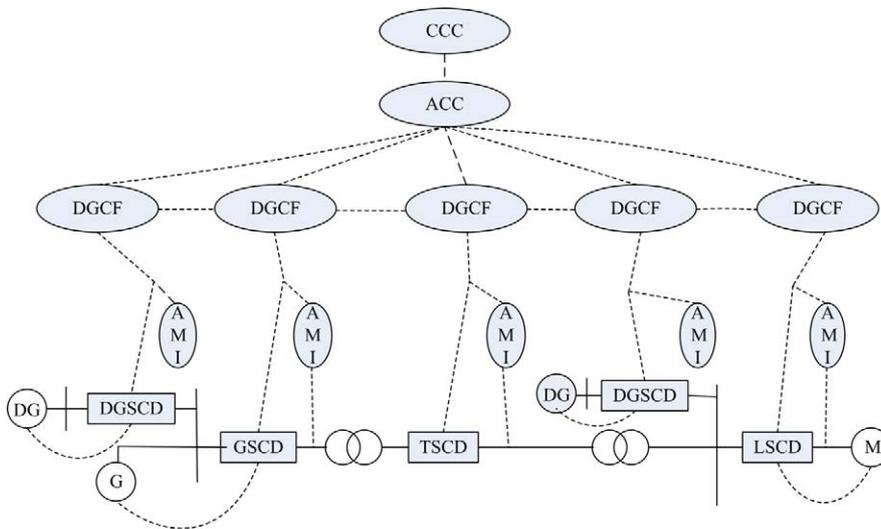


图 2 智能电网组织结构图—分层式

Fig.2 Architecture diagram of smart grid—hierarchical

2 建设 SG 需要解决的技术难题

2.1 先进的智能化元件和测量装置

智能化元件的使用是电网实现智能化的物理基础，这些智能化元件必须能够在各种干扰下，根据反映所控制的元件的属性信息和控制中心发来的命令准确快速地执行有效地智能操作；先进测量装置要求能够准确灵敏地测量反映电网元件的属性、状态等物理量，然后，通过自身的接口装置发送到通信网，最后由通信网传输给各级控制中心。

近年来，信息技术、电力电子技术、自动控制理论、现代传感器技术等学科的发展，以及现代制造工艺水平的提升，为先进的智能化元件和测量装置的规模化生产奠定了技术和理论基础。一般来说，先进的仪表测量装置应该包含四部分：仪表、网络接口、数据收集和数据处理等装置构成。

2.2 选择合理的通信方式

如前所述，网络化是智能电网的突出特征之一，要实现网络化必然涉及到通信方式的选择。电能传输以光速传播，电网事故往往在几秒甚至几个周波的时间内就能波及到周围区域甚至到整个电网，大电网互联，一方面电网规模变大，另一方面，横跨广袤的区域，容易遭受自然和人为灾害。

联系前面 SG 组织架构的描述，智能电网为广域网，其拓扑方式应该采用混合拓扑（主要包含网状拓扑和总线拓扑），通信协议宜采用分级形式，再考虑到智能电网运行分析的实时性，这无疑对网络传输容量、传输的准确性和快速性有了更高要求，所以采用分散式自律体系架构的通信方式更安全、更高效。

2.3 对电网运行规律认识的进一步提高

自从智能电网的概念提出以来，新技术新装置的应用成为热点话题，实际上，智能电网并没有改

变电网的本质规律,只是运行方式的升级,各级控制中心是通过计算机应用程序来决定电网的运行变化的,而应用程序本质上是对电网运行规律本质认识的数学描述,换言之,从某种程度上来说,对电网的研究就是以数学、控制学等学科为工具来反映、再现、量化电网在正常和故障条件下的运行过程,比如:对电网的动态失稳机理的认识,电网元件特别是新型元件的数学建模等等,目前尚没有统一的认识,所以建设智能电网的核心任务是对电网运行准确而全面的数学描述。

以上只是列举了智能电网面临的主要技术难题,除此之外,还有其他一些技术问题有待解决,比如:发展超导输电技术、间歇性能源的分布式发电的接入和退出技术、储能技术^[12]、电力光纤复合型电缆的使用技术等等。

3 SG 在中国的发展现状

近些年来,中国加快了电网互联的步伐,全国统一电网即将形成,电网安全性日益严峻,发展智能电网是提高电网安全性的有效手段。根据国家电网公司的说法,国家智能电网的建设,在今明两年将完成规划与试点工作,在2010年到2015年实现推广,预计到2020年,全国将建成统一的坚强智能电网。文献[13],通过十步走规划,可以将现有的包含分布式发电的电网转换为智能的灵敏的电网,文献[14]介绍了传统的电能传输框架转变为智能的可自愈的电网在可靠性、安全性、高效性、自恢复性方面面临的挑战。

如前所述,中国的智能电网将以特高压输电为框架,这是由中国的现状所决定的,自然资源集中分布的区域和主要电能消费区域的不对称,必然导致电能长距离大规模的输送,另外,太阳能光伏发电、水力发电、风力发电、核电等新能源发电量与煤电发电量在电能消费中所占的比例相比,还非常有限,加之新的输电技术尚未投入使用,而金属导线低压输送功率时网损太大,所以必须采用特高压输电。但是,作为一次性资源的煤的有限性和煤电目前在中国发电中占据主导地位,未来大规模使用新能源发电是唯一的选择,分布式发电必将主导中国未来的发电形式。

智能电网标准的制定是智能电网进入实质性发展阶段的标志。鉴于中国在特高压输电领域的经验和技術以及在诸多电网技术上的领先地位,中国将第一次以主力国家的身份与美国一道就制定智能电网的标准展开协商。关于智能电网的标准建立,文献[15]认为建立自顶向下的相互协调性标准和建立

智能块(智能元件)标准是建立智能电网标准的关键所在。

4 结论

电网互联导致电网安全性形势日益严峻,建设智能电网是解决这一难题的必由之路。智能电网增强了电网的可观测性,使电网资产具有可控性,提高了电网的性能和安全性,降低了电网运行、维护和规划的成本,同时,还能实时地处理负荷和市场参与者的随机性,提高了电能质量,允许有多种发电选择,使得电力市场不断走向成熟,优化电网配置。

虽然智能电网是一个标准化的技术体系,但它不是新技术的简单叠加,而且智能电网的标准也不是一成不变的,智能电网的智能化在相当长的时间里是处于一个不断发展的过程中,电网稳定性理论的不完善和发展则是推动其智能化不断提高的内动力。

参考文献

- [1] 周双喜,等. 电力系统电压稳定性分析及其控制[M]. 北京:中国电力出版社,2003.
ZHOU Shuang-xi, et al. Power system voltage stability analysis and control[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2003.
- [2] 徐浩. 电力系统电压稳定性研究(硕士学位论文)[D].南京:东南大学,2005.
XU Hao. Study on power system voltage stability, thesis[D]. Nanjing: Southeast University, 2005.
- [3] Brown R E. Impact of smart grid on distribution system design[C]. //Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. 2008.
- [4] Coalton Bennett, Darren Highfill. Networking AMI smart meters[C]. //Energy 2030 Conference. 2008.
- [5] Srinivasa Prasanna G N, Lakshmi A, Sumanth S, et al. Data communication over the smart grid[C]. //IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications. 2009.
- [6] Katz J S. Educating the smart grid[C]. //IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications. 2009.
- [7] Hart D G. Using AMI to realize the smart grid[C]. //Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. 2008.
- [8] Gustav R. Future transportation with smart grids & sustainable energy[C]. //SSD '09. 6th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices.2009.
- [9] Pipattanasomporn M, Feroze H, Rahman S. Multi-agent

systems in a distributed smart grid: design and implementation[C]. //IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications. 2009.

[10] 郝悍勇. IBM 眼中的“智能电网”[J]. 电力信息化, 2006, 7 (6): 24-25.

HAO Han-yong. Smart grid in IBM's eyes[J]. Electric Power Information, 2006, 7 (6): 24-25.

[11] 谭永东. 自律分散系统动态进化问题研究(博士学位论文)[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.

TAN Yong-dong. Study on dynamic evolution of autonomous decentralized systems, doctoral dissertation[D]. Chengdu: Southwest Jiao Tong University, 2007.

[12] 程时杰, 李刚, 孙海顺, 等. 储能技术在电气工程领域中的应用与展望[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(2): 3-5.

CHENG Shi-jie, LI Gang, SUN Hai-shun, et al. The application and prospects of energy storage technology in electrical engineering[J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25 (2): 3-5.

[13] Collier S E. Ten steps to a smarter grid[C]. //REPC '09. IEEE Rural Electric Power Conference. 2009.

[14] Massoud Amin. Challenges in reliability, security, efficiency, and resilience of energy infrastructure: toward smart self-healing electric power grid[C]. //Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. 2008.

[15] Richard DeBlasio, Cherry Tom. Standards for the smart grid[C]. //ENERGY 2008. IEEE Energy 2030 Conference. 2008.

收稿日期: 2009-09-18; 修回日期: 2010-08-09

作者简介:

牛朋超 (1983-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统稳定运行与控制研究; E-mail: npc19830916@sina.com

康积涛 (1962-), 男, 教授, 硕士生导师, 从事电力系统及其自动化方面的研究;

李爱武 (1982-), 男, 硕士研究生, 从事牵引供电研究。

(上接第 218 页 continued from page 218)
地, 检查保护屏, 会发现白色的端子告警, 那么就知是控制回路发生直流接地, 方便检查。

4 结束语

基于直流监测端子Dog的分布式直流监测系统是现有的集中式直流报警系统的良好补充, 它具有如下优点:

a) 直流端子Dog能够发现寄生回路的存在, 这是现有的直流报警系统所不具备的功能。

b) 直流接地故障发生时, 能够将可能故障区域确定在一个更小的范围内, 方便工作人员的查找及维护。现有直流报警系统只能确定直流接地的存在, 但不能发现直流接地的具体位置。

c) 可按需配置的分布式监测系统。基于Dog的特点, 使得这个分布式系统的配置完全可以取决于需要, 既能够采用全分布的方式以使监测系统的功能达到最强, 也可以采用底层分布方式或自配置方式以减低成本, 提高性价比和效率。

综上所述, 采用基于直流监测端子 Dog 的分布式监测系统对变电站直流系统的保护更完善、更高效、更安全。

参考文献

[1] 邹森元. 浅谈防止直流寄生回路及一点接地问题[J]. 继电器, 1996, 14 (3): 52-57.

ZOU Sen-yuan. Discussion on preventing DC parasitic circuit and one-point-earthing[J]. Relay, 1996, 14 (3):

52-57.

[2] 甘景福. 直流系统间的寄生回路造成的直流接地假象[J]. 华东电力技术, 2004 (2): 41-42, 47.

GAN Jing-fu. DC unreal grounding caused by parasitic circuit between DC systems[J]. North China Electric Power, 2004 (2): 41-42, 47.

[3] Tanenbaum A S, van Steen Maarten. Distributed systems: principles and paradigms[M]. Pearson: Prentice Hall, 2004.

[4] Webb A C, Webb M. Automated testing of power system protection relays[J]. Power Engineering Journal, 1988, 11: 143-146.

[5] 毛锦庆, 等. 电力系统继电保护规定汇编[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.

[6] 田瑞敏, 崔秀梅, 韩晋锋, 等. 变电站查找直流接地浅谈[J]. 科技情报开发与经济, 2006, 16 (1): 285-286.

TIAN Rui-min, CUI Xiu-mei, HAN Jin-feng, et al. Taking about checking the direct current grounding within the transformer substation[J]. SCI/TECH Information Development & Economy, 2006, 16 (1): 285-286.

收稿日期: 2010-01-17; 修回日期: 2010-05-17

作者简介:

余波 (1963-), 女, 工程师, 从事电力系统自动化及科技管理工作; E-mail: nltai@sjtu.edu.cn

徐丙华 (1958-), 男, 工程师, 从事电力系统继电保护及工程管理工作;

黄吉 (1983-), 男, 工程师, 从事电力电子技术研发工作。