

数字化电网概念研究

唐跃中^{1,2} 邵志奇¹ 郭创新¹ 曹一家¹ 阮前途²

(1 浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027 2.上海市电力公司, 上海 200122)

摘要: 数字化电网的概念内涵和关键技术一直缺乏一个系统的研究和阐述。通过归纳国内外数字化电网的相关研究和实践, 提出数字化电网技术是利用当今和未来先进的传感、通信、控制和信息技术使整个电网系统的各环节都更加有效、经济和安全的技术体系, 是信息技术与电网技术融合的产物。分析数字化电网的关键技术、主要特征和核心优势表明, 数字化电网可以应对当前电网面临的许多困难和挑战, 但从传统电网发展到数字化电网需要一个渐进的过程。

关键词: 数字化电网; 信息技术; 电网稳定; 经济效益

中图分类号: TM769

文献标识码: A

文章编号: 1004-9649(2009)04-0075-04

0 引言

自2003年8月14日美加大停电以来, 欧洲、俄罗斯相继续发生一系列的严重事故。业界和学术界研究和总结后认为, 当代电网面临的挑战是多样化的, 主要体现在: (1) 电力市场开放和能源政策变迁。电力市场带来了发电竞争, 电网运行安全和分布发电的难题。随着能源紧缺和环境污染问题的日益严峻, 风能、太阳能和分布式发电等正得到大力推广应用, 将其纳入目前电网中的安全性、有效性需要进一步研究。(2) 电网发展滞后和运行控制不协调。无论是欧美国家还是像中国这样的发展中国家, 电网基础设施老化、电网运行冗余度小已经成为一个非常普遍的现象。传统的电力系统是通过不断满足应用需求逐步“微增”而发展, 因此其网络结构和运行控制也不是全局优化和统一协调的。前几年美欧发生一系列大停电事故, 普遍被认为是这2个问题的直接反映。(3) 电力系统正由传统的机电控制向电力电子控制转变。随着电力电子技术在电力系统中的广泛应用, 需要借用先进的计算机和通信技术协调控制电力电子设备, 以提高电网的安全、稳定、经济与质量。

自上世纪90年代以来, 以集成化、网络化和智能化为主要特点的数字化技术得以迅速发展。其在化工、制造等工业中的广泛而成功的应用, 为利用数

字化技术解决当代电网面临的挑战提供了启示。国内外研究机构和专家学者纷纷提出了类似数字化电网的概念, 以应对这些挑战。

1 数字化电网研究现状

1.1 国际上与数字化电网相似的研究

在国际上, 如美国电力研究院(EPRI)、美国能源部(DOE)、IBM公司等先后给出了对未来电网的描述。EPRI将未来的电网定义为IntelliGrid^[1]; 美国能源部的电力输配局在2003年7月发布的“对电力第2个百年的全国范围的构想”的报告中提出了GRID2030计划^[2]; 欧洲于2005年提出了欧洲技术平台(ETP)的SmartGrid的概念, 对欧洲2020年左右的电力网络提出了构想。

这些“新概念电网”均具有可靠、灵活和经济的电力和信息流传送, 安全稳定的网络通信和系统控制, 全面的信息集成和数字化监控, 自由的电力交易和分布式电源接入, 电网和用户之间双向互动等特点。

1.2 国内对数字化电网相似的论点

上世纪90年代末, 国内的电力行业提出了“数字电力”的概念。较有影响的是“数字电力系统”(DPS)^[3]的概念, 它是将实际运行的电力系统的物理结构、物理特性、技术性能、经济管理、环保指标、人员状况、科教活动等进行实时地形象化地描述与再

收稿日期: 2008-12-27; 修回日期: 2009-01-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50677062); 新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-07-0745); 浙江省自然科学基金资助项目(R107062)

作者简介: 唐跃中(1970-), 男, 浙江平湖人, 博士研究生, 从事数字化电网、电力市场和电力企业信息化技术及其应用研究。

E-mail: tangyz@smepc.com

现。DPS 是对实际电力系统进行的全面实时地仿真的数字电力系统。

近几年来,一些区域和网省(市)电力公司相继提出了对于“数字电力”的设想。上海市电力公司提出了“数字化供电系统”的概念,其内涵是“电网监控数字化、业务处理信息化和管理决策集成化”^[4];南方电网公司提出建设“数字南方电网”^[5],其特点是以全局模型的形式对实际运行电网的真实特性进行数字地、准确地、实时地再现,并最终实现电网调度决策的智能化和调度指令执行的自动化。

上述研究与实践均是从本国家、单位或组织的角度出发,对有关概念进行分析和展望,但对数字化电网概念的明确定义和完整内涵的描述尚未形成一致意见。因此,非常需要提出一个涵盖国内外主要研究成果,内涵和外延都更加清晰的“数字化电网”的概念,以指导我国的数字化电网实践。

2 数字化电网的概念与愿景

2.1 概念

综合国内外电力公司、研究机构和商业组织的研究成果,结合自身实践,作者提出数字化电网技术就是利用当今和未来先进的传感、通信、控制和信息技术使整个电网系统(发电、输电、配电乃至用电)的各环节都更加有效、经济和安全的技术体系。

数字化电网技术集成了在发、输、配、用各环节的先进技术和设备,用于解决当今电网存在的主要问题和面临的重要挑战,它将会改变整个电网系统的设计、建设、运行和管理的各个环节。数字化电网技术的范围涵盖了电力系统的整个电能输送链:发电、输电、配电、用电与服务,如图 1 所示。

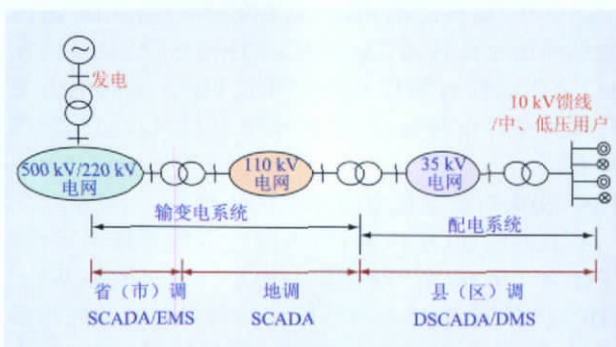


图 1 电力系统电能输送链

Fig.1 Power transmission chain

按系统层次分,数字化电网包括了电力系统一次、二次、通信与网络、运行与调度、电力市场运作以及电网资产管理等,如图 2 所示。数字化电网是从一次系统到二次系统、从测量监控到运营管理信息的集成与综合。由于电力系统本身的复杂性,加上

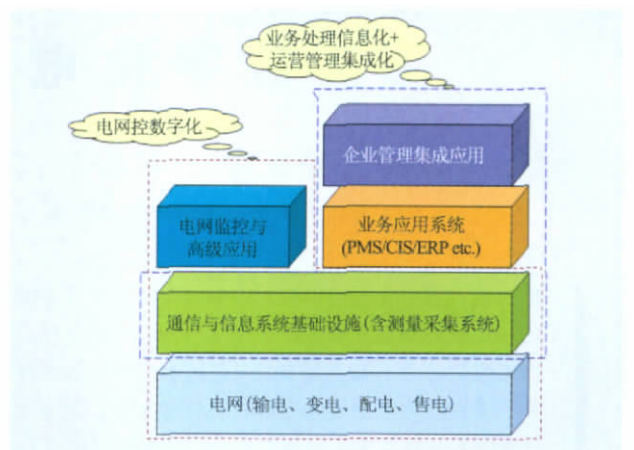


图 2 数字化电网层次

Fig.2 Structure chart of digital power grid

电力系统相关技术、经济和安全因数,研究数字化电网需要一种整体的、系统化的方法。

2.2 愿景

数字化电网的愿景也是数字化电网成功与否的标准,需要从政府机构、电力公司和社会用户等不同角度来衡量。但无论从哪个角度,下面这些关键目标是最基本的标准:

(1)可靠。可靠的电网应能按照要求可靠地运行,能经得起一定的扰动,能提供足够的告警信息使得系统校正措施能在系统发生破坏性故障前得到执行。

(2)安全。安全的电网应能经得起物理或黑客的攻击而不至于引起大规模的停电或设备破坏。

(3)经济。经济的电网应能满足电力供需要平衡的要求,能支持电力市场的有效运作,能支持分布式能源策略。

(4)优质。电力在发、输、配、用等环节的“运输”过程中能保证满足各种用户对电能质量的要求。

(5)高效。数字化电网应能提高投资效率,减少总体成本和降低能源损耗。

(6)环保。在运行和维护过程中,对运行维护人员和社会公众不产生任何伤害;在电网发展过程中逐步减少对环境的不良影响。

3 数字化电网的关键技术和特征

3.1 关键技术

3.1.1 先进的电力一次设备

新一代的电力设备将充分利用新材料技术、纳米技术和先进数字化技术等,从而承载更高的功率密度、具备更高的可靠性和更高的实时诊断能力。这些技术主要包括:超导电缆、故障限流器、复合导体、柔性交流输电、先进储能、分布式发电、先进变压器

和开关等。同时结合先进的系统接入装置,使得负荷和分布式发电可以参加系统运行操作。

3.1.2 传感和测(计)量装置

新的数字技术可以处理各种信息输入如价格信号、日价格曲线和区域公司用户限电计划;也可以采集各种电气量如电压、电流、有功无功、用户实时用电量 and 电能质量;还具有对远程设备的遥控功能。实现发电公司、电网公司和用户之间的交互接口,从而可以增强对电网故障的检测处理,对设备状况的监测,还能提供更多的手段防止电能偷窃,加强用户侧管理。较典型的有:用于电网监控的如广域测量系,用于供电侧的“用户电能质量网关”等。

3.1.3 集成通信系统

高速、集成的通信系统是数字电网具有动态交互的实时信息和电力交换的超级网络的基础。集成的通信平台能为智能型检测装置、控制装置、保护装置和用户侧设备构建一个即插即用的平台。

3.1.4 智能控制功能^[6]

计算机系统可以采集和监控电网所有基础元件的数据和状态,然后通过数据分析做出诊断,自动决策并采取合适的行动。与广域测量、快速通信、集中的高级诊断、智能控制等功能进行融合,系统在受到扰动和故障后能顺利地恢复到稳定状态;在侦测到系统故障(问题)后,可以重新分配潮流、改变负荷的用电模式、提高电压质量和采取其他校正措施;自适应继电保护系统可以对系统的变化自动做出调整,使继电保护成为保障电网安全稳定的最后一道防线而不是目前的唯一防线。

3.1.5 决策支持和用户交互^[7]

现代电网对调度人员的决策时间要求已经到了秒级。数字化电网需要广泛、无缝和实时地利用各种电力系统应用和工具。基础应用和功能包括变(配)电站自动化、调度自动化、能量管理、分布式发电管理、需求响应式调度、电力市场竞价与运营等。数字化电网时代需要采用新一代的系统和工具来实现更优化的决策支持。这些系统和工具包括人工智能、决策支持、半“智能”体软件、可视化工具和实时动态仿真培训系统。新一代决策支持系统的关键思想是把可靠性和安全性作为决策支持系统设计和运行的关键因素,并且能与管理系统和流程实现集成。

3.2 关键特征

3.2.1 具有自愈功能

通过更高级的检测和更稳定的通信技术,数字化电网可以例行地或自动地检测、分析、响应和恢复电网的元件乃至部分网络来维持系统稳定、可靠、安全、经济和电能质量。

3.2.2 能容纳更多的发电形式

数字电网应能容纳各种发电形式,要求数字电

网应能大大简化网络的接线形式,能通过类似 IT 系统的“即插即用”的概念实现分布式电源的接入。

3.2.3 具有更“能动”的用户

在数字化电网中用户及其设施应成为电力系统集成、能动的一部分,无论在发用电平衡、电力系统控制和电力市场运作时都可以作可灵活调控的部分予以考虑。

3.2.4 更经得起安全冲击

安全的冲击既指在一次系统层面上,系统能更经得起发电、负荷或电网关键元件失效的重大冲击,也指在二次系统安全层面,更经得起外部的网络信息安全攻击,使安全成为电力系统内在集成的基本能力。

3.2.5 更高的电能质量

在数字电网时代,电能质量敏感负荷占电网整体附和的比例越来越高。未来的电能质量要求更“柔性”地发电、输电、配电,使负荷具有更加能容忍畸变电力的能力。

3.2.6 对电力市场完全支持

数字电网应能完整地支持电力市场的运作,因为电力系统的规划、运行、定价和可靠性依赖于公开的接入市场设计和规范。数字电网应能支持批发市场,必要时也能支持零售市场。

3.2.7 电网监控与资产管理的集成^[8]

资产将得到更加系统化的管理,将电网资产作为一个整体系统,实现最低的成本、提供最完整的功能。通过更高级的检测和更稳定的通信技术,设备的故障检测和保护性措施将得以更早的实现。

4 数字化电网的优势

4.1 更强的紧急处理能力

调度员在面临电网紧急状态时能采取有效措施来减少负荷损失,保护人身和设备安全,开始事故恢复。目前的系统对紧急事故的预测能力非常有限,而数字化电网具有预防性分析功能应能,能给调度员提供更先进的分析工具。因此在数字化电网中能够减少停电事故的概率,电网具有更高的安全性和抵御灾害及破坏的能力。

4.2 更快速的故障恢复

在紧急事故处理中,运行人员需要将停电或受到破坏的电网恢复正常。在目前的电网技术中需要大量的协调和现场工作用于更换、修理配置新的设备和系统,这将是一个漫长的过程,一般受大事故而中断的电网的恢复期需要几天甚至几周。数字化电网具有自愈功能,利用新的数据库和地理信息系统可以帮助运行人员制定恢复策略、加快恢复速度、缩短恢复时间。

4.3 更有效的日常运作

调度员的主要工作是执行调度发电计划和电网操作,处理电网波动和小事故例如跳掉1台发电机组。这些工作包括启动或停运机组,从而向系统注入或减少一定的发电容量以应对网络中大规模的负荷波动和潮流转移。在数字化电网中调度员则可以利用先进的可视化工具和决策支持系统,更加准确及时地了解电网的运行状况,从而更好更快地采取应对措施。

4.4 更优化的经济运行

调度员可以通过优化网络运行和机组运行,减少不必要的网络拥塞和网络损耗,降低总体发电成本,最终提高整个电网的运行效益。在数字化电网中,调度员将拥有更加先进的、有效的优化手段和工具,优化高峰负荷,减少拥堵成本。

4.5 更科学的系统规划

系统规划工程师分析中长期的规划问题,例如规划中的发电项目、预测负荷和供给的平衡、决定行动计划。在数字电网中,利用更加丰富的数据收集和更加有效的模型分析,使得对未来负荷的预测更加准确;能够优化设计和优化电网资产来提高投资效益;能够节约资源来保护环境;在电源规划时能够提高分布式发电利用率和提高发输电容载比。

5 结语

数字化电网是当前电力技术重要的发展方向。以信息通信技术和电力控制技术的发展为基础,数字化电网不但能有效地容纳分布式能源(特别是太阳能和风能)和用户参与电力调节,而且将大大提升电网运行的安全性、可靠性和经济性,同时还能大幅提升应对灾难和抵御风险的能力。

完全建成数字化电网将是一个渐进的过程,首先需要整体规划电网结构;其次分功能模块开发各种智能装置;然后进行信息集成和数据筛选;最后优化算法开发各种高级应用。目前国内外正在积极开展研究,许多试验和示范工程相继投入

运行,相信未来3~5 a将是数字化电网取得突破的关键阶段。

参考文献:

- [1] IntelliGrid project. the integrated energy and communication systems architecture: technical analysis[EB/OL]. 2004-03-11. <http://www.epri.com/IntelliGrid/>.
- [2] United States Department of Energy Office of Electric Transmission and Distribution. "Grid 2030" an national vision for electricity's second 100 years [EB/OL]. 2003-07-15. http://www.energetics.com/pdfs/electric_power/electric_vision.pdf.
- [3] 卢强. 数字电力系统(DPS)[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(9): 1-4. LU Qiang. Digital power systems[J]. Automation of Electrical Power Systems, 2000, 24(9): 1-4.
- [4] 阮前途. 上海市电力公司“数字化供电系统”研究与实践[J]. 电力信息化, 2007, 5(8): 11-13. RUAN Qian-tu. Research and application of digital power supply system in shanghai power company[J]. Electric Power Information Technology, 2007, 5(8): 11-13.
- [5] 张弥, 吴国青, 吴小辰, 等. “数字南方电网”构想[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(23): 94-98. ZHANG Mi, WU Guo-qing, WU Xiao-chen, et al. Strategy vision of "Digital China Southern Power Grid"[J]. Automation of Electrical Power Systems, 2005, 3(3): 27-29.
- [6] BRAND K, OSTERGAG M, WIMMER W. Safety related, distributed functions in substations and the standard IEC 61850 [C]//IEEE Bologna Power Tech Conference, 2003: 315-319.
- [7] KEZUNOVIC M. Integrating data and sharing information from various IEDs to improve monitoring, condition-based diagnostic, maintenance, asset management and operation tasks [C]//Proc. ERPI Substation Equipment Disturbance Conf. New Orleans, Louisiana. Feb. 2004.
- [8] 李向荣, 郝悍勇, 樊涛, 等. 构筑数字化电网建设信息化企业[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(17): 1-5. LI Xiang-rong, HAO Han-yong, FAN Tao, et al. Constructing digital grid and informatized enterprise[J]. Automation of Electrical Power Systems, 2007, 31(17): 1-5.

(责任编辑 张重实)

Conceptual study on digital power grid

TANG Yue-zhong^{1,2}, SHAO Zhi-qi¹, GUO Chuang-xin¹, CAO Yi-jia¹, RUAN Qian-tu²

(1. Electrical Engineering College, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Shanghai Municipal Electric Power Company, Shanghai 200122, China)

Abstract: The concept of digital power grid (DPG) has not had a unified and systematic definition and description yet. By summarizing the main studies on the new generation of power grid carried out at home and abroad, it was proposed that the concept of DPG focuses on using the advanced communication and information technology to improve the system stability and economic efficiency throughout the power grid. The key technologies, essential characteristics and main advantages of DPG, were discussed in detail and the step by step approach to construct the DPG was considered in a practical way.

Key words: digital power grid; information technology; system stability; economic efficiency