

智能电网能量流的时空多尺度大数据探讨

李泽文, 邓拓夫, 曾祥君, 舒 磊, 刘水平

(长沙理工大学 智能电网运行与控制湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410004)

摘 要: 随着电力业务的飞速发展和大数据应用技术的不断完善, 电力大数据时代正式到来。然而现有电力数据尚无法满足智能电网的安全稳定等发展需求, 智能电网需要能够反映电力能量流可观性的立体全景信息。为此, 分析智能电网能量流时空多尺度大数据的概念, 通过广域电网实时宽频带时空多尺度同步测量技术, 可准确、可靠获取电网能量流全景数据, 该纳秒级宽频数据能精确反映电力能量流特征。能量流时空多尺度大数据可为智能电网科学研究提供更准确的全景数据信息, 有助于解决电网动态安全稳定监控、复杂大电网建模降维与解耦、电网能量传递分析和暂态保护控制等电力系统科学技术难题, 具有重要的理论价值和工程应用前景。

关 键 词: 电力大数据; 智能电网; 能量流; 时空多尺度

中图分类号: TM7; TN964.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9140 (2015)01-0022-06

Study on big data with time-space multi-scale for smart grid power flow

LI Ze-wen, DENG Tuo-fu, ZENG Xiang-jun, SHU Lei, LIU Shui-ping

(Hunan Province Key Laboratory of Smart Grids Operation and Control, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: With the rapid development of power business and the continuous perfection of big data technologies, the age of big data in power system is drawing near. Nevertheless, current electric power data is not able to meet the demand of smart grid on safety and stability analysis, where comprehensive information reflecting power flow observability is needed. To solve this problem, the big data with time-space multi-scale was analyzed for smart-grid power flow in this paper, it was nanosecond and broadband data obtained by wide-area real-time broadband time-space multi-scale synchronous measurement, and it was capable of precisely reflecting the power flow characteristics of power grids. The data can provide comprehensive information for smart grid research with higher accuracy, and which is helpful for solving the complex problems of power grid dynamic security and stability supervision, dimension reduction and decoupling of complex and

收稿日期: 2014-11-12

基金项目: 国家自然科学基金 (51377012); 湖南省自然科学杰出青年基金 (2012FJ1003); 湖南省教育厅重点项目 (14A002); 湖南省高校科技成果转化产业化培育项目 (13CY008); 可再生能源电力技术湖南省重点实验室开放基金 (2012ZNDL001)

通讯作者: 李泽文 (1975-), 博士, 副教授, 主要从事电力系统继电保护技术研究; E-mail: lzw0917@163.com

huge power grids. The proposed data has great theoretical value and extensive application prospect.

Key words: power big data; smart grid; power flow; time-space multi-scale

随着科学技术的不断进步,数字信息快速增长,信息量呈爆炸性发展态势,人类社会进入“大数据时代”^[1-7]。随着大数据的深入发掘,其作用和价值得到企业和社会的认可,各国政府陆续启动了国家层面的大数据研究工作,大数据成为社会经济发展乃至人类社会进步的强大推动力。

近年来,随着电网公司智能电网、三集五大两中心业务建设快速推进,通过各种方式采集的结构化、半结构化、非结构化的电力业务数据激增^[4],电力大数据已逐渐成为现实。利用电力大数据,可有效促进电力企业信息技术平台和电力业务应用的升级改造,扩展对海量数据的处理能力,提升数据信息挖掘技术的整体水平,促进电力业务的跨越式发展,电力大数据成为中国智能电网建设和绿色可持续发展的关键^[8]。

随着通信技术、物联网、CPS、云计算等各种新兴技术的日臻成熟,电力大数据的集成管理、存储、计算、分析挖掘成为可能。电力工作者已开始研究电力大数据的处理与应用技术,为电力大数据的实际应用打下了基础。文献[9]结合电力公司的数据现状和业务需求,探讨了大数据在电力系统中的具体应用;文献[10]研究了电力大数据的容纳和处理技术;文献[11]研究了多电力数据融合、数据可视化、数据存储、快速数据计算等关键技术,促进了电力大数据在电力生产中的应用;文献[12]研究了数据质量监控、数据实时检测等电力大数据的应用关键技术,建立了一种电力大数据质量监控与评估体系模型,并基于该模型开发了数据质量管控平台,实现电力大数据的动态质量监控;文献[13]基于云计算提出了一种海量数据的预处理方法,为电力大数据的简化处理提供了一种新思路,能有效缓解通信系统数据传输压力。

电力大数据与电力能量流动相生相伴,电力能量流中存在宽广频带信号,各频段信号中均含有丰富的系统运行信息。然而现有电力系统信号检测手段仅检测部分频段信息,WAMS等系统检测的基于稳态时间断面的电力数据信息无法满足电网动态控

制决策的需求,从而调度运行人员不能得到或只能部分得到反映电网动态过程的在线计算数据,以致继电保护和自动装置不能快速动作全局。现有电力信号检测系统无法实现宽广频带一次信号的真实测量,难以满足电网动态安全稳定分析及智能电网能量流的可观测性与全景信息测量的发展需求。

电力大数据的出现使电力能量流的全景实时同步检测成为可能,笔者顺应电力系统信号检测技术的发展历程,定义一种智能电网能量流时空多尺度大数据概念,可为电力保护控制等决策系统提供完整、准确、实时基础的大数据信息支持;并探讨智能电网能量流时空多尺度大数据的意义及依据该新型电力大数据有望解决的重要科学技术问题,这些科学问题如果能够得到解决,将有望全面提升智能电网科学研究的原始创新能力,显著促进智能电网的跨越式发展。

1 电力系统能量信号检测技术的发展历程

电力系统信号检测技术经过多年发展,经历了孤立模拟检测、数字测量、广域检测、广域同步检测、电子式互感器检测、高频暂态信号检测等发展阶段,如图1所示。

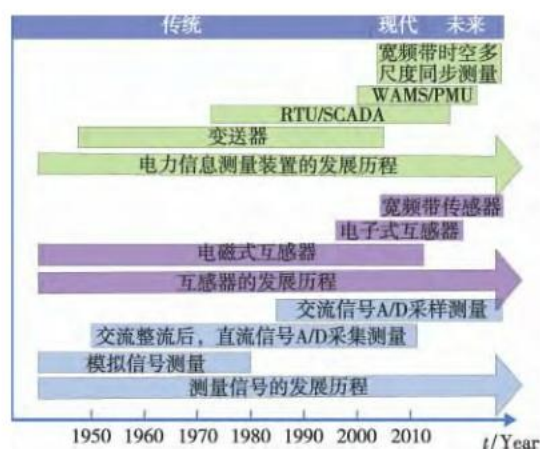


图1 电力系统信号检测技术的发展历程

Figure 1 The development process of power system signal detection technology

通常 SCADA、WAMS 系统仅测量 1 kHz 以下的频率信息,电子式互感器的合并单元能测量 10 kHz 以下的频率信息。而广域电网中存在宽广频带信号,各频带信号中均含有丰富的系统运行信息,如图 2 所示。现有电力系统信号检测系统无法实现宽广频带一次信号的真实测量。

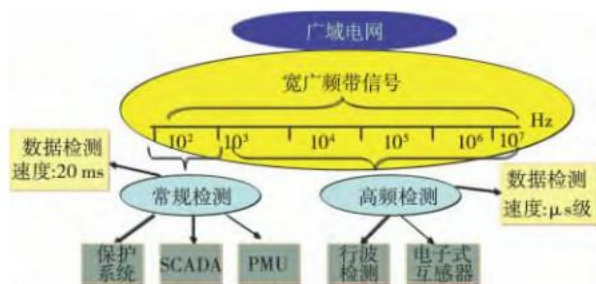


图 2 广域电网信号的频率分布

Figure 2 Frequency distribution of wide-area grid signal

随着计算机技术、通信技术、数字信号处理等大数据应用技术的快速发展,以及智能电网全景动态记录与分析控制技术的发展需求,能展示纳秒级电网暂态能量传递的广域电网能量流的时空多尺度同步测量将成为电力系统信号检测技术的发展趋势。

2 智能电网能量流时空多尺度大数据的概念与意义

2.1 智能电网能量流时空多尺度大数据的定义

智能电网的最终目标是建设成为覆盖电力系统整个生产过程,包括发电、输电、变电、配电、用电及调度等多个环节的全景实时数据系统,要求实现电网海量数据信息的时空多尺度拓展。多时间尺度指电网数据信息覆盖了包括实时数据、历史数据以及预测的未来数据,多空间尺度指数据信息覆盖了不同电力元件、间隔、电压等级等数据信息。当时空数据库中的数据具有立体、全景信息流且能足够忠实表达时空现象时,该数据对智能电网的服务功用才会更有意义。

智能电网能量流时空多尺度大数据(时空多尺度大数据)是指在纳秒级卫星时钟控制下广域电网异地同步实时分频段采集的宽广频带电压电流信号,经波形反演消除互感器(传感器)的传变误差,再将各频段信号合成能完整、准确、实时表述电网一次能量流特征的数字信号。

时空多尺度大数据的检测方法与现有电力信息检测技术相比,增加了波形反演环节,消除了互感器的传变误差,能真实测量电网一次宽广频带信号。该大数据类型繁多,包括实时数据、历史数据、文本数据、多媒体数据、时间序列数据等各类结构化、半结构化数据以及非结构化数据等,数据体量巨大,从 TB 级别跃升到了 PB 级别,能展示纳秒级电网暂态能量传递的时空多尺度“立体信息”和“全景信息”,是深入研究智能电网信息流与能量流相互作用机理、优化控制能量流、动态提升电网安全经济指标的基础数据。

2.2 时空多尺度大数据的意义

随着智能电网国家战略的实施,电网功能正从传统输、变、配电业务快速向源荷交互的平台演化。随着储能技术和能量转换技术的发展,智能电网将实现能量流和信息流的融合,以信息流控制能量流,优化能源网络,保障能源供给,促进节能减排^[14]。

实施电网能量流的动态可观测(即电网全景信息采集及统一建模)是智能电网建设国家战略实施的基础,要求实现电网测量信息的数字化、标准(规范)化、一体化,要求实现广域电网信息同步实时采集。目前电力信息领域缺乏能够反映时空多尺度全局信息的、纳秒级连续时间采样的和宽广频带数据,广域电力信息的动态可观测性已成为制约智能电网发展的技术瓶颈之一,智能电网建设迫切需要广域异地同步、宽频带采集、精确的时空多尺度大数据。

时空多尺度大数据是智能电网建设国家战略实施的重大需求,可为智能电网科学研究提供更准确的全景数据信息,为电网动态安全稳定监控、智能电网大数据建设和暂态保护控制等提供电网实时宽频带时空多尺度同步测量的基础数据,可全面提高智能电网科学研究的原始创新能力,具有重要的理论意义和工程应用前景。

3 时空多尺度大数据的应用分析

3.1 电网能量流动态观测

智能电网利用信息流控制能量流,首先需要解决能量流的动态观测问题,快速获取时空多尺度“立体信息”和“全景信息”。电力系统现有的信号采集系统尚不能满足能量流观测的实时性和宽频带

的要求。SCADA 系统只能提供秒级参数(电压、电流、功率等)标量的非同步测量数据,WAMS 系统只能提供 0.1 s 级时间断面的参数向量测量数据,难以支撑电网动态过程的控制决策。此外,SCADA 系统和 WAMS 系统只能测量千赫兹以下的低频信号,难以满足电网高频暂态信号传播分析的要求^[15]。

时空多尺度大数据能从时空多尺度全景动态同步反映广域电网信息,即能以纳秒级时间间隔快速显示电网暂态能量信息,从而实现动态监视与分析广域电力系统能量流的传递过程,包括:雷击、过电压、电网谐波、闪变等暂态信号,有助于重演电网低频振荡和故障发展历程、揭示大电网故障的发展机理和电网灾变的演化规律、展现能量流各频段的相互影响过程、直观电网的安全裕度、构建电网动态稳定控制策略、提升安全经济运行能力。

3.2 复杂大电网建模及计算降维和解耦

电力系统继电保护整定、潮流计算、状态估计、暂态稳定计算以及故障定位等分析计算依赖于精确的系统模型^[16]。电力元件的数学模型描述了系统各组成部分的工作特性,通常是能反映实际系统运行状况的等值模型,该等值模型可以通过数学表达式来逼近描述电力元件的物理特性。因而可以利用电力元件的等值模型来构建电力系统仿真模型,并通过数字仿真来模拟电力系统的演变过程。元件参数值的准确性对仿真分析结果可信度的影响非常大,而电力系统规划设计和运行控制中的分析计算一般依据仿真结果做出决策,所以系统模型中元件参数的精确性至关重要,直接影响电力系统的安全稳定经济运行。

由于系统仿真模型采用的元件参数缺乏准确性,仿真结果无法再现系统失稳的动态过程,难以进行事故重演,使电力系统动态仿真的真实性和有效性受到质疑^[17]。近年来国际上发生的一系列停电事故,如美国西部电网 1996 年 8 月 10 日大停电、美加 2003 年的“8·14”大停电、欧盟 2006 年的“11·4”事故和印度 2012 年 8 月 1 日大停电,其事故重演结果与事故实际发生过程相差甚远;甚至出现系统振荡、解列事故后,根据事故历史数据进行的重演结果是稳定。可见基于不准确的元件参数所进行的仿真结果与真实电力系统的运行情况差别很大,迫切需要更全面、更完整的电网运行数据来计

算元件参数。

随着中国电力系统的快速发展,超特高压、大容量输电、分布式能源接入、智能负荷的出现、互联电网越来越复杂,传统由理论推导、试验测试等获取元件参数的方法已经不能满足智能电网的发展需求;基于 SCADA 的电网参数估计存在难以衡量估计精度以及不同线路的参数估计结果相互影响的问题;基于 PMU 的线路参数辨识能够使待辨识的线路与电网其他元件解耦,进而进行辨识,但辨识结果受部分未知量的影响明显。时空多尺度大数据包含广域同步测量的稳态和暂态信号,具有频带宽、每帧间隔时间短等优点,能为元件参数辨识提供全景实时动态数据,有利于电网元件的准确建模。

电力系统是世界上最大的人造系统,其非线性、多构成、多维数、多变化、多接入、多输出、多方式、多电压等级等特点使电力系统成为协调难度非常大的动态复杂巨系统。部分线路之间、元件之间相互耦合,仿真计算需要对成万上亿个方程求解,维数空间巨大,求解难以收敛。电网能量流时空多尺度大数据能够直接用于复杂电网分析,使电网的很多未知参数变为已知,从而实现电网的有效降维、解耦,简化和加速电网故障分析、优化调度和预测。

3.3 电网宽频带能量传递及相互作用机理分析

电能质量是对电能评价的重要指标,电压闪变、跌落、谐波的产生和传递是评价电能质量的重要参数。传统电力系统稳态分析把电网等效为线性系统,各频率能量可以独立分析,互不干扰。但从暂态分析层面观测,电力系统存在大量的非线性元件,随着电力电子设备的大量应用和交流电弧炉等冲击性负荷的增加,非线性特征日益显著。在非线性的元件上(包括故障点的跃变),不同频率信号能量相互转换,激励了谐波和谐波潮流。含大量非线性元件的电力系统,受元件非线性特征的影响,即使三相电路拓扑结构对称、元件特性完全相同,三相电路的拓扑结构也不能简单地直接等效为单相电路的拓扑结构,致使电力系统潮流等计算更趋复杂。为此,智能电网建设要求对电网能量流中各频段信号及其相互作用机理深入分析。

故障产生的高频信号中含有丰富的故障信息,很多高频故障信息具有工频故障信息所不能比拟的优点,然而高频信号在电网中的传播机理和不同频

段信号间的相互作用机理尚不明确。

时空多尺度大数据可以提供能够反映广域电力系统运行行为的丰富的原始能量信息,充分挖掘这些原始信息有望揭示宽频带信号的能量传递及其相互作用机理,监视谐波产生与传播过程,从而为智能电网的电能质量治理、安全性评估和智能保护控制提供丰富可靠信息,并为电能质量治理提供新的思路。

3.4 暂态保护工程应用

行波保护与传统工频量保护方法相比,具有动作速度快和不受过渡阻抗、互感器非线性特性、系统振荡及长线路等效分布电容等因素影响的优点,已成为继电保护领域的发展方向之一^[18]。20 世纪 80 年代末至 90 年代初,国内外电力研究人员在行波精确检测等理论研究方面取得重大突破,行波保护技术进入实用化阶段。然而,由于行波信号传播速度快、频带窄,易受高频信号干扰,且行波提取元件存在波形失真,导致行波信号真实检测困难。受互感器高频传输衰变的影响,互感器二次侧行波波形与一次侧行波波形存在较大差异,现有方法采集的行波信号不能真实反映电网一次行波信号特征。而几乎所有行波保护方法的保护判据都是基于一次行波波形特征分析得到,致使现有行波保护方法难以在实际电力系统中应用,严重制约了行波保护技术的发展。

时空多尺度大数据包含纳秒级的高频暂态信息,互感器二次侧信号经波形反演,可真实再现一次行波信号特征,能实现行波信号的高精度检测,促进行波保护的实用化,有望解决暂态保护的工程应用问题。

4 结语

电力大数据目前处于前期研究阶段,电力大数据关键技术及其应用研究已受到国内外电力研究学者的广泛关注,电力大数据将为电力行业带来显著的理论研究及实际应用价值,甚至其发展模式将由业务驱动向数据驱动转变。在此背景下,笔者提出了一种智能电网能量流时空多尺度大数据概念,该大数据能展示纳秒级电网暂态能量传递的时空多尺度“立体信息”和“全景信息”,是深入研究智能电网

信息流与能量流相互作用机理、优化控制能量流、动态提升电网安全经济指标的基础信息;利用该大数据,可望解决电网动态安全稳定监控、复杂大电网建模降维与解耦、电网能量传递分析和暂态保护控制等电力系统科学技术难题,显著促进中国智能电网建设的跨越式发展,具有重要的理论价值和工程应用前景。

参考文献:

- [1] Clifford Lynch. Big data: How do your data grow [J]. Nature, 2008, 455 (7209): 28-29.
- [2] Paul C, Chris Eaton, Dirk Deroos, et al. Understanding big data analytics for Enterprise Class Hadoop and streaming data [M]. New York: McGraw Hill, 2012.
- [3] McKinsey Global Institute. Big data: Next to the forefront of innovation, competition and productivity [R]. New York: McKinsey & Company, 2011.
- [4] 夏清, 贾曦, 陈新宇, 等. 智能电网的发展战略和政策建议 [J]. 电力科学与技术学报, 2012, 27 (3): 9-15.
XIA Qing, JIA Xi, CHEN Xin-yu, et al. Industry development strategy and policy recommendations for smart grids in China [J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2012, 27 (3): 9-15.
- [5] 中国电机工程学会信息化专业委员会. 中国电力大数据发展白皮书 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [6] 姜腊林, 金小明, 龙鹏飞, 等. 电力系统规划数据平台的数据设计 [J]. 电力科学与技术学报, 2012, 27 (4): 91-96.
JIANG La-lin, JIN Xiao-ming, LONG Peng-fei, et al. Design of power system planning data platform [J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2012, 27 (4): 91-96.
- [7] 鲁宗相, 闵勇. 基于功率预测的波动性电源发电的多时空尺度调度技术 [J]. 电力科学与技术学报, 2012, 27 (3): 28-33.
LU Zong-xiang, MIN Yong. Multiple time and spatial scale dispatching techniques of volatile energy generation based on power prediction [J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2012, 27 (3): 28-33.
- [8] 李皎. 大数据时代到来对电力行业发展提出新要求 [J]. 华北电业, 2012 (4): 82-83.
LI Jiao. The arrival of new requirements for the power industry development in the age of big data [J]. North China Power, 2012 (4): 82-83.
- [9] 陈超, 张顺仕, 尚守卫, 等. 大数据背景下电力行业数据

- 应用研究[J]. 现代电子技术, 2013, 36(24): 8-11.
- CHEN Chao, ZHANG Shun-shi, SHANG Shou-wei, et al. Research on power industry data application based on big data[J]. Modern Electronics Technique, 2013, 36(24): 8-11.
- [10] 杨德胜, 陈江江, 张明. 电力大数据高速存储及检索关键技术研究与应用[J]. 电子测试, 2014, 21(3): 62-63.
- YANG De-sheng, CHEN Jiang-jiang, ZHANG Ming. Power big data high speed data storage and retrieval and application of key technologies[J]. Electronic Test, 2014, 21(3): 62-63.
- [11] 闫龙川, 李雅西, 李斌臣, 等. 电力大数据面临的机遇与挑战[J]. 电力信息化, 2013, 11(4): 1-4.
- YAN Long-chuan, LI Ya-xi, LI Bin-chen, et al. Opportunity and challenge of big data for the power industry[J]. Electric Power IT, 2013, 11(4): 1-4.
- [12] 陈超. 电力大数据质量评价模型及动态探查技术研究[J]. 现代电子技术, 2014, 37(4): 153-155.
- CHEN Chao. Research for electric power big data quality evaluation model and dynamic exploration technology[J]. Modern Electronics Technique, 2014, 37(4): 153-155.
- [13] Huang Zhiwei, Gao Tian, Zhang Huaving, et al. Transient power quality assessment based on big data analysis[C]. China International Conference, Shenzhen, 2014.
- [14] Yang C, Liu C, Zhang X, et al. A time efficient approach for detecting errors in big sensor data on cloud[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2014, 26(2): 329-339.
- [15] Burnett R O J, Butts M M, Cease T W, et al. Synchronized phasor measurements of a power system event[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1994, 9(3): 1643-1650.
- [16] Aman S, Simmhan Y, Prasanna V K. Holistic measures for evaluating prediction models in smart grids[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2014, 27(2): 475-488.
- [17] 陈光华, 杜栋, 庞庆华, 等. 基于可靠性的配电网规划评估体系[J]. 电力科学与技术学报, 2013, 28(4): 63-74.
- CHEN Guang-hua, DU Dong, PANG Qing-hua, et al. Reliability based distribution network planning evaluation system[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2013, 28(4): 63-74.
- [18] Chih-Wen Liu, Tzu-Chiao Lin, Chi-Shan Yu, et al. A fault location technique for two-terminal multisection compound transmission lines using synchronized phasor measurements[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(4): 113-121.