

电力市场环境下的电能质量问题

徐永海, 肖湘宁

(华北电力大学电气工程学院, 北京市 昌平区 102206)

POWER QUALITY PROBLEMS IN DEREGULATED POWER SYSTEMS

XU Yong-hai, XIAO Xiang-ning

(School of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Changping District, Beijing 102206, China)

ABSTRACT: The deregulation of power industry led to some new features of power quality. The author researched the effects of new deregulation policy on the problems relevant to power quality, such as new requirements on power quality monitoring method, the measures to improve power quality, the synthetic quantitative assessment of power quality level and the management of power quality, etc., and pointed out the importance of studying the problems relevant to power quality under the environment of electricity market.

KEY WORDS: Power system; Electricity market; Power quality monitoring; Synthetic quantitative assessment

摘要: 电能质量研究已逐渐成为一个与系统特性和市场经济紧密关联的新课题。电力市场化的改革使电能质量问题出现了一些新特点。作者探讨了电力市场化对电能质量的影响, 市场化对电能质量监测方法提出的新要求以及电能质量的改善措施、电能质量等级综合评估与电能质量的管理等问题, 并指出了在电力市场环境下进行电能质量相关问题研究的重要性。

关键词: 电力系统; 电力市场; 电能质量监测; 综合评估

1 引言

市场化已成为世界各国电力工业改革的目标。目前, 我国电力市场化改革也正在积极推进与形成之中。但世界各国在改革初期普遍对电网的发展重视不够, 这必然要引起一系列与电网安全稳定性和电能质量相关的问题, 应引起关注^[1]。在开放与竞争的电力市场中, 电网可以择优选择电能质量高、报价低的电厂上网, 电力用户也可选择电价合适, 同时电能质量较高的供电公司来为其提供电力^[2]。电能是电力部门向电力用户提供, 由发、供、用三方共同保证质量的一种特殊产品^[3], 电力体制改革在追求以最小成本获得最大效益的同时, 应保证

电力系统的安全、经济、优质运行。在竞争的电力市场中, 大多数监管机构会明确提出供电质量的要求, 并把电力公司的经济效益和供电质量联系起来^[1], 所以, 电能质量应成为制定电价的重要约束条件之一。

在电力市场环境下, 电能质量问题日益引起发电公司、电网公司与用户的关注, 同时电能质量问题也出现了一些新特点。随着电力体制改革的进行, 电能质量与电力市场的关系将更加密切, 两者之间有很多需要研究和解决的问题^[4-16]。本文将仅从电力市场环境下电能质量的特点、监测方法、改善措施、电能质量指标的综合评价与评估、保证电能质量的法律法规等方面进行探讨, 更广泛的研究有待于电能质量市场理论的建立^[8,15]。

2 电力市场化对电能质量的影响

在竞争的电力市场中, 买卖双方参与市场的目的是为了追求各自的最大经济利益。卖方为降低运营成本, 可能使电力系统在更临近安全极限的水平下运行, 并可能减少线路与设备维护次数, 缩减甚至取消新设备投资。电力公司所采取的上述节约成本的措施, 会对稳定水平进而对电能质量产生负面影响^[1]。缩减新设备投资与用电量增加之间的矛盾, 将使系统出现大停电等事故的可能性增加; 减少维护次数可能增加短路故障发生的次数。发生在配电系统的故障将会使一些用户受到电压中断的影响, 并使一些用户受到电压暂降 (voltage sag or dip) 的影响; 而发生在输电系统的故障通常将会使相当多的用户受到电压暂降的影响。

在众多的电能质量扰动中, 电压暂降与谐波是最为突出的两个电能质量问题。由于各种非线性用

电设备的大量应用,谐波畸变在当前和未来是我国电网所面临与急需解决的重要问题。而电压暂降目前已成为很多发达国家面临的居第一位的电能质量问题,在我国该问题也已引起关注,随着我国国民经济的发展其重要性将迅速提升,并可能上升为居第一位的电能质量问题^[4]。因此,在目前与未来电力市场的大环境下,对这两个问题应有一个清醒的认识。

每次电压暂降的幅值、持续时间与某一统计时间段内暂降发生的频次是表征暂降的主要特征量。在电力市场环境下,除非采取有效措施,电压暂降的危害将增加,其主要原因为:

(1) 输配电系统维护次数的减少,将使短路故障发生的次数增加,而短路故障是电压暂降发生的主要原因;

(2) 电力市场化运营允许远距离输送功率,这将使电压暂降的发生次数和严重程度增加。

同时,随着我国国民经济与高新技术的发展,各种精密的用电设备将越来越多地应用在各行各业中,这些精密设备往往对电压暂降较为敏感,从而使得电压暂降问题变得愈加突出。

同样,谐波畸变问题也将变得更为严重,其主要原因为:

(1) 市场化将使得各种电源结构快速发展,如风能和太阳能的发展等,这些能源形式需通过电力电子装置的变换才能接入系统,在变换过程中将出现谐波问题;

(2) 在输电系统,非线性 FACTS 装置的广泛应用将使谐波畸变增加;

(3) 大量的非线性用电设备的增加,无疑将使谐波畸变程度增加。

除电压暂降和谐波外,其它的电能质量问题也将随着市场化的推进而突显出来。

此外,电力市场化还分散了各方对电能质量应负的责任。在垂直一体化的体制下,电力公司对电能质量负主要责任。在电力市场环境下,谁应该对用户的电能质量负责?是发电方、配电方、售电方还是用户自己?电能质量责任界限的模糊将使得事件的处理复杂化。

电力市场化还将激化电能质量问题引起的矛盾。在我国,电力行业已被分解为两大电网公司与五大发电公司。发电公司的上网电能可认为是纯净无污染的,但由于各地区电网结构与用户用电特性

等的差异,不同电网会把不同的污染反馈给发电厂,严重时威胁电厂的安全可靠运行。例如,在我国已发生多起因负序电流以及由不对称谐波产生的等效负序问题引起发电机的负序电流过负荷保护跳闸切机,导致大面积停电的事故。在新的体制下,类似这样的问题必将引起作为电力市场两大主体的发电公司与电网公司之间的矛盾。

3 电能质量监测方法

构建电能质量监测网络,将各监测点的数据传送到分析中心数据服务器,利用安装在中心主机上的评估分析软件对各监测点的数据作各种分析并将其评估结果作为分析、治理电能质量问题的依据,这在电力市场环境下尤为重要。

一个完善的监测网络不仅应能实时记录有功功率、无功功率、电压偏差、频率偏差、谐波、电压波动、三相不平衡等数据,还应具有记录电压暂降、暂升、中断以及捕捉快速瞬时干扰(毫秒级甚至纳秒级)的能力。

评估结果不仅应能给出单项电能质量扰动的状况,还应将近年来电能质量扰动自动识别的研究成果包含进来^[17,18],克服人为判断的不现实性与不足,以适应市场化所追求的高效率、低成本的要求。在未来的监测网络中,应进一步对引起电能质量扰动的原因进行分析,并对扰动发生源进行定位,为市场化条件下明确责任、进行经济处罚提供依据。此外,利用监测结果对某个供电点或系统进行电能质量等级的综合评价,还可为制定市场电价提供质量依据,有关该问题将在后文详述。

利用先进的技术手段,对测量数据的变化进行分析,预测事故发生的苗头,以在事故发生前采取必要的措施,这是对电能质量监测提出的又一高要求,可称之为预见维护型电能质量监测。

为了提高测量数据的可信度和可比性,提高数据库与其它系统的开放性和共享性,规范监测网络数据交换格式是非常必要的。在此方面,美国 EPRI 提出了相应的电能质量数据交换格式(Power Quality Data Interchange Format, PQDIF),PQDIF 是专门针对电能质量数据特点设计的一种数据格式,完全从电能质量信息的角度来考虑问题,相对于一个数据库来说,所要解决的是异构数据源之间的数据通用性问题。PQDIF 已被 IEEE 采纳并将作为标准来制定。目前,PQDIF 已经成为发达国家信

息标准化的趋势,我国也应该加快这方面的研究和应用工作。

建立网络化、信息化、标准化和具有分析评估、自动识别与定位并具有预见维护等强大功能的检测网络,将为电能质量的综合评价、治理、电力商业化运行提供可靠的指标数据,并为进一步保障各级电力用户的正常用电秩序和监督管理,为电力企业面向电力市场、适应市场竞争提供强有力的手段。

4 电能质量改善措施的研究

改善电能质量的措施有很多,如电网的无功优化、负荷控制,以及近几年在全国范围内进行的城乡电网改造工程等,都是提高电能质量的重要措施。应用于输电系统的各种 FACTS 装置和配电系统的 DFACTS 装置,对提高输配电系统的电能质量正在发挥着越来越重要的作用。在电力市场环境下,要更加重视以下几个问题:

(1) 供电方将逐渐介入电能质量改善过程。在市场化初期阶段,劣质电能质量的治理仍将遵从“谁污染,谁治理”的原则。随着市场化的推进,供电公司应从电网和用户的全局出发,综合考虑治理的社会经济效益,制定合理的治理方案,采用先进的技术措施对不同电能质量问题按其特点在电网侧或用户侧进行针对性治理,统一解决某一电网中的电能质量问题,从而使电能质量问题的解决更规模化和专业化。供电公司的积极、主动参与是与市场化的初衷一致的,并且也只有供电方才能从全网角度统筹考虑电能质量的解决方案。对用户而言,若其本身是污染源,在电力市场环境下,用户也可以选择是自己解决对电网的污染问题,还是留给电网去解决。同时,除用户本身产生的电能质量问题之外,用户不希望所购买的电能不满足其使用要求,即用户还具有选择购买高质量供电公司电能的权利。因此,无论是追求技术经济性能和社会效益,还是迫于竞争压力,供电公司 will 越来越多地参与控制电能质量。当然,供电公司也应具有监督污染用户进行治理的权利。

(2) 暂态电能质量的抑制要作为研究的重点。例如,一些敏感设备对电压暂降非常敏感,在端电压低于 90% 标称值且持续时间在 1~2 个周期时就会掉电,其结果将造成过程控制和生产流程紊乱、系统无控制重启动等,使机电设备不能正常工作,导

致相当严重的经济损失。为此,要加大暂态电能质量问题分析与减缓措施的研究力度,加快研究速度。从供电部门、用户和设备制造商三方面采取有效措施,尽可能减小暂态电能质量问题的不利影响。

(3) 应加强多模式供电方式的研究。根据用户的性质,可将用户划分为一般用户、敏感用户和重要用户。对一般用户,只需采取常规措施即可。对敏感用户和重要用户,则应采取特殊措施,防止电压暂降、供电中断以及谐波等问题的发生。当然,供电公司也应得到相应回报,具体可体现在电价上,对高质量、高可靠性要求的用户应多收电费。例如,可在特定的区域,建立优质电力园区 (Premium Power Park, PPP),通过一系列手段提供不同质量水平的电能来满足用户的需求。园区内的电力按不同质量定价,用户可以选择不同等级的电能质量,支付不同电价的电费。这样,既满足了不同用户的需求,使他们可选择使用性价比最高的电能来降低其产品成本,提高产品的竞争力;同时,供电公司也可以增加电费收入,从而达到双赢的目的。从长远角度看,进一步的工作应归并到电能质量控制中心 (Quality Control Center, QCC) 的相关研究中,不同层次的 QCC 可以满足不同用户的需求^[19]。

(4) 要注意到分散电源的快速发展对电能质量的影响及其改善措施。分散电源有可控和不可控之分。不可控分散电源的功率一般是低于 10kW 左右的光电系统或大于和接近 1MW 的大型风力发电装置。由于功率水平和发电短期波动的不可控性,这些分散电源必然成为电能质量的污染源。目前,分散电源的市场正在快速发展,据有关资料评估,至 2010 年,新装发电设备中,分散电源可占 25% 左右,而且与主网相联。因此,针对此状况,应该研究新的电能质量改善装置和配电网结构以适应新形势下对电能质量的要求。

5 电能质量等级综合评估

我国现有的六项电能质量标准分别对电压偏差、频率偏差、谐波、电压三相不平衡、电压波动与闪变、暂态过电压进行了限定。除暂态过电压外,目前的电能质量测试仪器具有对前五项电能质量指标进行是否满足标准要求的判断。但在电力市场环境下,优质优价的根据应是综合的电能质量指标的优劣。同时,虽然目前还没有制定电压暂降的标

准,但对于这一重要的电能质量问题,也应将其引入到质量的综合评估中。为此,应建立一种客观的评定方法,对各项质量指标进行综合评定,给出电能质量的量化指标,以使电力部门能及时掌握系统运行状况,并将明确的电能质量因素作为制定电价时的参考。同时,电力部门还应及时向用户提供系统电能质量的情况,作为全面考核供电质量的依据和用户选择供电服务的参考,提高电力市场运营的透明度。这不仅有利于电力部门树立良好的企业形象,而且有利于发挥用户消费的积极性和主动性,提高需求侧管理的效益。

由于不同负荷受不同质量问题的影响不同,当多个电能质量问题共同存在时,不同的组合对设备的影响是十分复杂的问题,在作评估时要与当地负荷的敏感度相结合,才能得到比较准确的评估指标结果。这使得电能质量的综合评估复杂化。因此,应结合实际情况并采取适当的数学方法,如模糊数学、概率论等,建立各电能质量指标的数学模型,进行综合电能质量评估,给出其等级划分。需说明的是,可将评估方法综合到电能质量监测网络中,作为监测装置的一项功能。

在对电能质量进行综合评估之后,可将其作为电力市场辅助服务类型的一种,通过制定相应的电能质量服务市场标准、竞价原则等,将质量因素引入到市场中去,参与市场竞争。

6 电能质量的管理

在电力市场环境下,发电、输电、供电将成为各自独立的经济实体,各实体之间应通过合同,各自承担起维护电能质量的相应责任。例如,在澳大利亚,为了适应新的电力市场机制,成立了相应的技术监督部门,它不仅制定电能质量标准,而且装备有必要的监测设备用以强制各方严格执行电能质量标准。在我国,有必要在国家质量监督部门领导下建立国家级电能质量检测、管理中心,作为电能质量监管的技术归口单位。

要健全电能质量监督管理体系,进一步修订、完善《电网电能质量技术监督管理规定》,以明确各级职责、理顺各方面的关系。如在公用供电网与用户的产权交界处的电能质量问题的评估、责任归属与改善措施等。在供电部门与用户签订供电协议以及发电厂与输电部门签定上网协议时,应就电能质量及其保证体系签定详细的可操

作性强的条款。

应加强对电网中大的干扰源用户、用电大户和重要用户的运行管理。对干扰超标用户,应协助其制定治理方案,限期实施;并在运行方式安排上,考虑对干扰源负荷供电带来的一些特殊问题^[20]。对向用电大户和重要用户供电的电能质量状况要实时监测,并采取必要措施保证供电的质量,以避免由于电能质量问题引起的巨大经济损失和负面社会影响。

在电力市场环境下,电力企业各方面的管理也必定要为适应新的发展需求而进行改革,新形式对管理者提出了包括具有相应的电能质量知识在内的新要求。在高水平的管理和具备相应的技术手段对电能质量进行监测、评估与治理的情况下,电力企业也可以像其他企业一样作到向管理要效益,向质量要效益。

7 结束语

电力市场化改革对电能质量的诸多方面将产生重要的影响,电能质量的优劣将与电力企业的经济利益密切相关,电能质量问题的解决已成为技术和经济交融的问题,提高与改善电能质量将会成为电力企业有偿服务或者说实现电能增值的一个主要手段。在电力市场环境下,应认识到电能质量的新特点,加强对电能质量各方面工作的研究、制定相应的法律法规、明确各方的职责、提高电力企业电能质量管理水平、增强服务意识,提高需求侧管理的效益,使电力企业在竞争中立于不败之地,使用户得到高质量的服务。

参考文献

- [1] 郭国川. 电力市场环境下的电网安全稳定[J]. 中国电力, 2003, 36(1): 43-47.
Guo Guochun. Power system stability problems in competition market environment[J]. Electric Power, 2003, 36(1): 43-47.
- [2] 肖遥, 李澍森. 开放竞争的电力市场与电能质量[J]. 华中电力, 2001, 14(5): 61-64.
Xiao Yao, Li Shusen. Competitive opening power market and power quality [J]. Central China Electric Power, 2001, 14(5): 61-64.
- [3] 肖湘宁, 徐永海. 电能质量问题剖析[J]. 电网技术, 2001, 25(3): 66-69.
Xiao Xiangning, Xu Yonghai. Power quality analysis and its development[J]. Power System Technology, 2001, 25(3): 66-69.
- [4] 肖湘宁, 韩民晓, 徐永海, 等. 电能质量分析与控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

- [5] Arrillaga J, Bollen M H J, Watson N R. Power quality following deregulation[J]. Proceedings of the IEEE, 2000, 88(2): 246-260.
- [6] Abdel-Galil T K, El-Saadany E F, Salama M M A. Power quality assessment in deregulated power systems [A]. IEEE PES Winter Meeting[C], 2002: 952-958.
- [7] Abdel-Galil T K, El-Saadany E F, Salama M M A. Effect of new deregulation policy on power quality monitoring and mitigation techniques [J]. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition[A], 2001: 554 -560.
- [8] Driesen J, Green T, Craenenbroeck T *et al.* The development of power quality markets [A]. IEEE PES Winter Meeting[C]. 2002: 262-267.
- [9] 杨进. 网络型电能质量监测系统的研究与 PQDIF 的实现[D]. 华北电力大学, 2004.
- [10] 陈警众. 电能质量问题及其改善装置 (PQD) 的最新发展[J]. 供用电, 2002, 19(6): 3-5.
- [11] 贾清泉, 宋家骅, 兰华, 等. 电能质量及其模糊方法评价[J]. 电网技术, 2000, 24(6): 46-49.
Jia Qingquan, Song Jiahua, Lan Hua, *et al.* Quality of electricity commodity and its fuzzy evaluation [J]. Power System Technology, 2000, 24(6): 46-49.
- [12] 江辉, 彭建春, 欧亚平, 等. 基于概率统计和矢量代数的电能质量归一量化与评价[J]. 湖南大学学报, 2003, 30(1): 66-70.
Jiang Hui, Peng Jianchun, Ou Yaping, *et al.* Power quality unitary quantification and evaluation based on probability and vector algebra[J]. Journal of Hunan University, 2003, 30(1): 66-70.
- [13] 唐会智, 彭建春. 基于模糊理论的电能质量综合量化指标研究[J]. 电网技术, 2003, 27(12): 85-88.
Tang Huizhi, Peng Jianchun. Research on synthetic and quantified appraisal index of power quality based on fuzzy theory[J]. Power System Technology, 2003, 27(12): 85-88.
- [14] 林海雪. 现代电能质量的基本问题[J]. 电网技术, 2001, 25(10): 5-12.
Lin Haixue. Main problems of modern power quality[J]. Power System Technology, 2001, 25(10): 5-12.
- [15] 金广厚, 李庚银, 周明. 电能质量市场理论的初步探讨[A]. 电力系统及其自动化专业第十九届学术年会论文集[C], 西南交通大学, 2003: 2042-2046.
- [16] 刘军成, 焦莉. 电力市场与电能质量监测评估策略[Z]. 电能质量技术研讨会资料汇编, 2003: 150-155.
- [17] 徐永海, 肖湘宁, 杨以涵, 等. 基于 dq 变换和 ANN 的电能质量扰动辨识[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(14): 24-28.
Xu Yonghai, Xiao Xiangning, Yang Yihan, *et al.* Power quality disturbance identification using d-q conversion-based neural classifier [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(14): 24-28.
- [18] 欧阳森, 王建华, 宋政湘, 等. 一种基于 dq0 变换和专家系统的电能质量信号辨识方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(5): 21-24.
Ouyang Sen, Wang Jianhua, Song Zhengxiang, *et al.* A power quality identification method based on dq0 conversion and expert system[J]. Proceedings of the EPSA, 2003, 15(5): 21-24.
- [19] 韩民晓, 肖湘宁, 徐永海. 柔性化供电技术[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(8): 1-5.
Han Minxiao, Xiao Xiangning, Xu Yonghai. Flexible electrical energy delivery technique[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(8): 1-5.
- [20] 林海雪. 电能质量的全面运行监督问题[J]. 供用电, 2004, 21(1): 9-11.

收稿日期: 2004-06-22。

作者简介:

徐永海 (1966-), 男, 河南新野县人, 博士, 副教授, 主要从事电力系统谐波、电力电子与电能质量等方面的教学与科研工作;

肖湘宁 (1953-), 男, 湖南澧县人, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统谐波、电能质量、现代电力电子技术及其应用等方面的教学与科研工作。

AREVA 输配电在 2004 年 CPESI 大会及展览会上 展示其在电网安全与可靠性方面的领先技术

AREVA 输配电是 AREVA 集团下属的从事输配电业务的公司, 是 2004 年 1 月份 AREVA 集团收购阿尔斯通公司输配电业务后成立的跨国公司, 是目前全球输配电领域最领先的三大公司之一。在中国北京、上海、广州、武汉、香港均建有业务办公室, 并建有 4 家合资企业和 1 家独资企业, 这些企业的主营产品分别为电力变压器、高压开关、中压开关和继电保护设备。

在 2004 年 10 月 18 日至 22 日于上海举行的亚太电协第 15 届大会 (CEPSI) 及展览会上, 公司展出了其在电网安全与可靠性领域的领先技术与先进的设备及系统: 有最新的变电站自动化方案——PACiS; 可移动式静态无功补偿变电站模型和 PIX 全新、灵活的中压开关系列; 电压可达 800KV 的 CTO 一型光电互感器; MiCOMP122 和 P142 继电器等。