

智能社区(微网)电能质量信息集成系统研究

时珊珊¹, 董瑞安²

(1. 上海市电力公司电力科学研究院, 上海 200090; 2. 上海电力通信有限公司, 上海 200002)

摘要: 文章结合承担的国家科技支撑计划项目陈家镇智能社区项目, 分析了智能微网系统电能质量环境特征, 介绍了智能微网电能质量信息集成技术的总体实施方案, 剖析了电能质量信息集成系统应考虑的主要环节及其各环节的主要功能, 提出功能层整合、数据层整合、界面层整合是智能社区(微网)电能质量信息集成技术的关键。

关键词: 智能社区; 微网; 电能质量; 系统集成

中图分类号: TM727 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1609(2014)02-0012-06

Study on Power Quality Information Integrated System in
Smart Community(Micro-grid)SHI Shanshan¹, DONG Ruian²

(1. Electrical Power Research Institute of Shanghai Electrical Power Company, Shanghai 200090, China;

2. Shanghai Electrical Power Communication Co., Ltd., Shanghai 200002, China)

Abstract: Based on the project of Chenjiazhen Smart Community construction which is State Technology Supporting Plan Project, the paper analyses the power quality characteristics of Smart Community (Micro-grid), and introduces the integrated information system implementation schemes. It is concludes that functional interface, data interface and GUI (graphical user interface) integrating are the key elements for power quality information integrated technology.

Key words: smart community; micro-grid; power quality; system integration

0 引言

近年来,随着能源问题的日益突出,国家能源政策对新能源技术的发展给予了多项鼓励,在此背景下分布式电源(DG)正日益成为新世纪重要的能源选择^[1],各种类型的 DG 广泛应用于负荷端,在节约不可再生能源的同时,满足了社会各界低碳及环境保护的需求。然而,分布式电源的并网运行会给所联电网带来一系列问题^[2-3],包括电压波动^[4]、直流偏磁、高次谐波等问题。因此,世界各国制定了多项相关标准^[5-8]。

应该说,由分散的 DG 并网过渡到统一控制的微网概念是可再生能源利用技术的一大跨越,健全

的微网内部协调控制机制抵消了 DG 的自然属性缺陷,为分布式发电的大规模应用开辟了广阔的前景。由上海市电力公司承担的国家科技支撑计划项目陈家镇智能社区建设正是顺应可再生能源应用领域的技术发展方向而试点的典型智能社区微网系统。该智能社区供电系统主要通过社区光伏发电系统、风力发电系统、地源热泵系统、燃料电池系统等各种新能源发电,并入 400 V 配电网共同对整个社区供电,同时 V2G 充放电系统对多余电力进行存储,从而形成循环用电、环保用电的理想智能社区低碳能源系统。其供电原理图见图 1。

笔者结合该项目的实施,介绍该智能社区(微网)电能质量信息集成系统的研究内容。

收稿日期:2013-07-22; 修回日期:2013-08-26

基金项目:国家科技支撑计划项目(2010BAK69B12);上海市科委崇明科技专项(10dz1200502)。

Project Supported by National Science and Technology Support Program(2010BAK69B12),Science and Technology Commission of Shanghai Chongming Science and Technology Projects(10dz1200502).

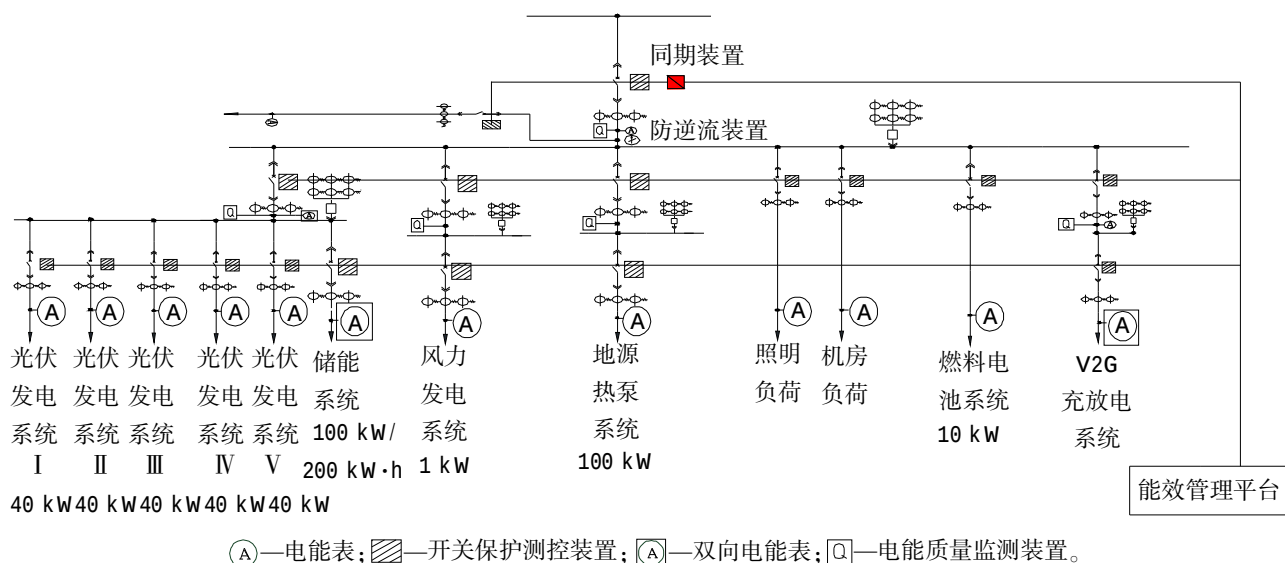


图1 陈家镇智能社区供电系统图

Fig. 1 Chenjiazhen smart community power supplying system

1 智能微网电能质量环境

微网电源主要由各类 DG 组成,加之网内广泛运行的节能型工业设备、办公设备及家用电器,使得其供电系统电能质量环境相对恶劣;反过来,这些基于电力电子器件的供用电设备又对电能质量干扰非常敏感。因此,监控、抑制智能社区电力系统电能质量扰动是社区和谐供电的关键议题之一。微网电能质量环境特征主要表现在:

1)一次能源包括风能、太阳能的随机不确定性引起的输出功率波动。

2)并网方式带来的高频谱、间谐波群特征^[9]。项目中的 DG 多经过可关断电力电子器件采用先进的调制技术进行能量转换,由于不同 DG 电力电子器件开关速率的差异及其调控方法的不同,以及一次功率的波动,其功率输出点电压电流频谱的特征范围、集中点表现出与传统电网完全不同的波形特征。例如 DG 广泛应用的全控型 PWM 整流、逆变电路,理论上不再产生传统的低次谐波,只产生与开关频率相关的高次谐波,谐波频谱可表示为 $n\omega_c \pm k\omega_r$ ($n=1,3,5,\dots$ 时, $k=0,2,4,\dots$; $n=2,4,6,\dots$ 时, $k=1,3,5,\dots$), 其中 ω_c 为载波频率(开关频率), ω_r 为调制波频率。图 2 为其典型频谱特征示意。对应于图 2 的低含量、高频段间谐波群特征的实际电压电流波形形状见图 3。此时采用传统的以有效值为评判指标的方法已经不再适用,需要研究开发出更加科学的谐波评判体系。同样,面对上述异常复杂的频谱特征,如何准确捕捉、如何实时处理海量数据等均是面临的新的挑战。

3)电压暂降对微网安全运行的影响。虽然逆变

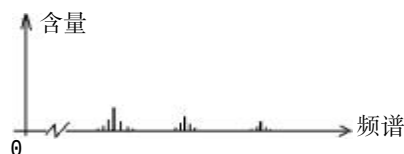


图2 频谱特征示意

Fig. 2 Characteristic of voltage/current spectrum

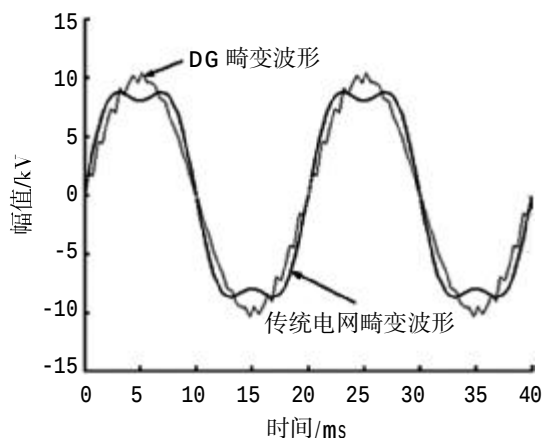


图3 波形形状示意

Fig. 3 Shape of real-time voltage/current

器并网型 DG 对电压暂降具有较强的抵抗能力,但是其能力受到多个方面因素的影响,如逆变器的短时过负荷能力、所采用的控制策略、交流系统参数、保护配置等^[10]。异步电动机型风力发电受电压暂降的影响较大。另外,外界干扰对微网内 DG 的运行、保护控制等均有一定影响,需要全面检测分析。

4)瞬态电能质量现象^[11]。从小到难以察觉的元件及线路老化,到电路板烧毁、设备报废等各种损伤,浪涌(瞬态现象)冲击对微网中低压智能电器、信息控制设备等具有多种负面影响。具体而言,电子设备中的半导体元件的接口最容易在系统浪涌下发

生老化;其次,如果浪涌电压超过设备额定电压 2 倍以上,绝大多数的半导体元件本身也会因此出现故障。另外,浪涌冲击对数据处理及传输设备也存在直接的影响,容易导致数据错误和元件故障。总之,浪涌(瞬变)冲击的危害可分为两个方面:硬件损伤;运行控制、数据处理发生偏差或错误。

虽然浪涌危害的机制目前还没有完全清楚,但是其危害造成的后果却是有目共睹的。同时,由于浪涌传播的耦合方式广泛(直接耦合、感应耦合、电容耦合、电磁场渗透等),一种系统(例如电力系统)内的浪涌可以耦合到另外系统(例如通讯系统)从而引起危害。一般来说,浪涌的危害从下述角度考虑:绝缘损坏、闪络、机械损伤、发热、瞬时峰值功率过负荷、 dU/dt 、 dI/dt 。鉴于瞬态电能质量对低压电气的危害和影响,世界各国和地区制定了相关规范和标准^[12-17],

可见,瞬态电能质量问题也是智能微网系统应该考虑的主要问题之一。

2 智能微网电能质量信息集成系统实现方案

智能微网电能质量信息集成即要求把握智能微网供用电环境的电磁兼容现象,将电能质量信息的采集、分析、应用、展示等环节形成单独的系统,并将结果信息集成到统一的微网能源管理信息平台中去。

该项目电能质量监测点布点见图 4。主要包括 10 kV 系统并网点、光伏 DG 并网点、垂直风机系统并网点、储能设备并网点及 V2G 并网点。其电能质量信息集成系统见图 5,由电能质量检测前置机服务器将电能质量监测点信息及其他电能质量控制设备信息传输到智能社区能源管理平台,能源管理平台再将电能质量信息传输到上海电能质量监控中

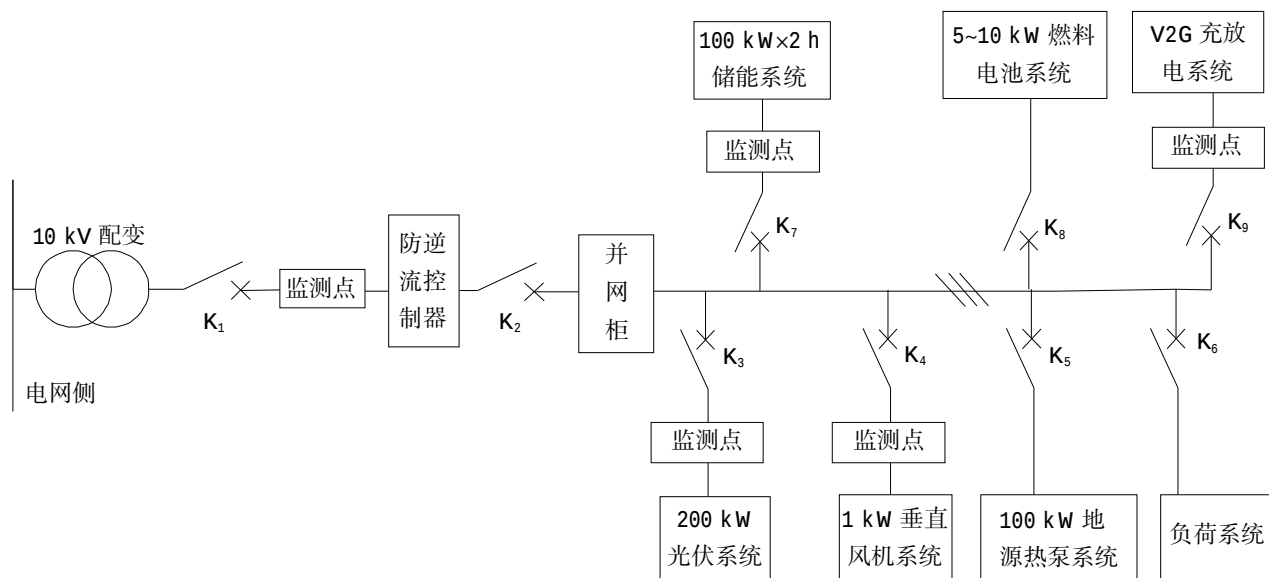


图 4 系统监测点布置图

Fig. 4 System configuration of PQ monitoring unites

陈家镇智能能源管理平台电能质量监测子系统拓扑结构图

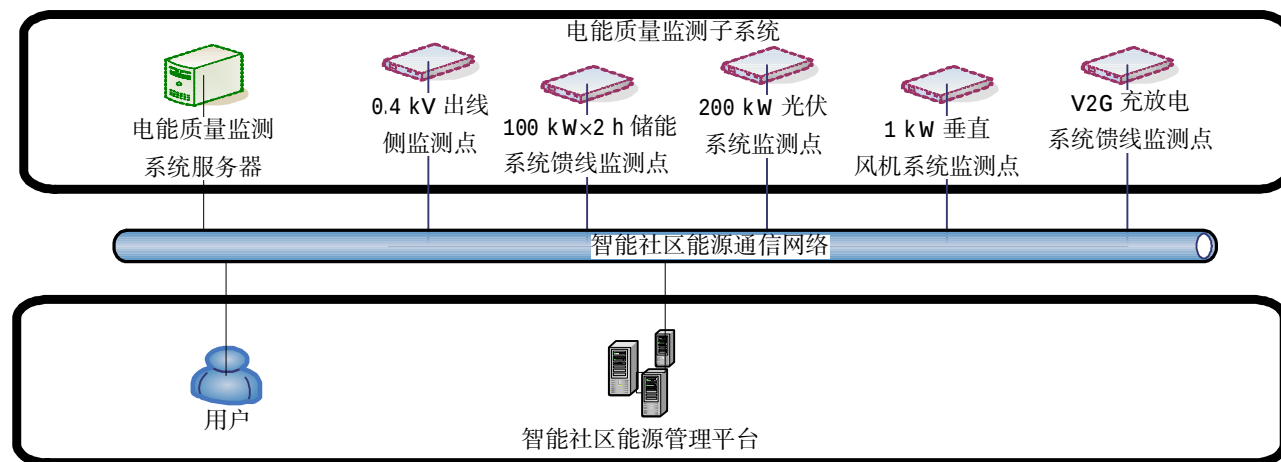


图 5 智能微网系统电能质量信息平台结构图

Fig. 5 Structure of PQ integrated system

心, 由上海电能质量监测中心协助对该数据进行分析, 并将分析结果反馈回社区, 从而确保该社区电能质量稳定。

2.1 总体目标

陈家镇国际生态社区把多个系统进行集成整合到统一的智能能源管理系统中。集成整合的方案主要包括功能层整合、数据层整合及界面层整合, 并提供电能质量数据接口。在智能能源管理系统的总体框架下, 电能质量监测、展示相关模块设计及开发独立进行, 包括对数据的调用、分析和显示。开发好的模块与能源系统进行集成整合, 无缝的嵌入到智能能源管理系统中。

2.1.1 功能层整合

电能质量可视化展示软件作为单独的模块或子模块集成到智能能源管理系统中, 具体包括: 电能质量系统监测模块, 电能质量分析报警模块, 电能质量数据可视化分析模块, 装置运行状态可视化监控模块, 见图 6-8。图 6 左上侧给出了所监测系统主接线及其监测点位置, 右上侧给出了稳态电能质量指标随时间变化的趋势, 下侧以表格形式给出稳态电能质量数据的综合统计数据; 图 7 展示了暂态事件发生过程中 A、B、C 三相电压瞬时值的变化; 图 8 展示了对应图 7 事件的三相有效值变化曲线。这些瞬时及有效值变化曲线助于后期离线分析事件的发生对不同电气设备可能造成的危害, 为电能质量抑制措施选择、方案制订提供依据。

2.1.2 数据层整合

即将电能质量可视化展示软件数据库中的原始数据进行分析, 将分析结果集成到智能能源管理系统数据库中, 便于在能源管理系统平台下对结果以表格、图形的方式进行展示。

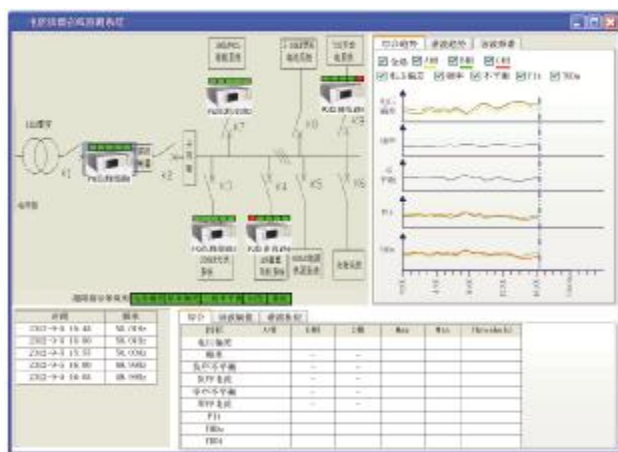


图 6 电能质量在线监控系统截图

Fig. 6 Showing on power quality monitoring system

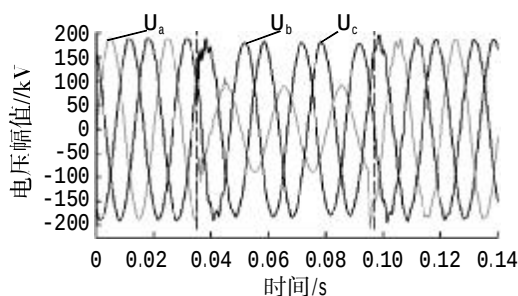


图 7 电能质量暂态事件波形图

Fig. 7 Waveform of temporary PQ event

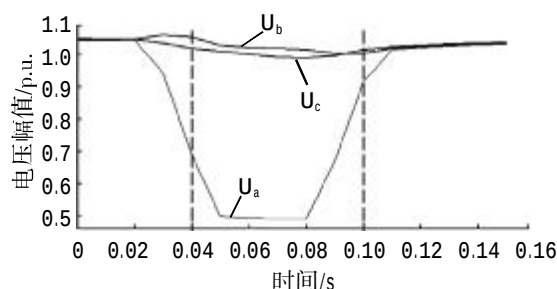


图 8 电能质量暂态事件有效值趋势图

Fig. 8 RMS shape of temporary PQ event

2.1.3 界面层整合

整合后的电能质量监测系统采用智能能源管理系统的界面框架及风格。

2.2 稳态电能质量特征数据的获取

结合智能社区电能质量特点, 需要进行采集加工的电能质量核心数据主要包括以下两类: 稳态数据, 包括高频段谐波及间谐波群; 暂态, 包括电压暂降、电压暂升、电压短时中断。

为了便于结合项目进一步研究、掌握智能社区电能质量特点, 要求监测设备采样率可在线调整, 例如采样频率可在 2 048/10 周波和 4 096/10 周波之间切换; 监测数据数值综合间隔、方法可调整设置, 例如综合间隔可设置为 3 s 的整数倍, 综合方法可在最大值和 RMS 值之间选择。

2.3 暂态事件特征信息

为了对智能社区电能质量暂态事件进行全面掌控, 需要提取的暂态事件技术参数见表 1, 智能社区电能质量事件信息举例见图 9, 包括监测点位置、事件发生时刻、事件触发阈值、事件维持电压及持续时间、事件过程有效值变化曲线(图 9 上部)及对应瞬时值变化曲线(图 9 下部)等。这些信息均是进一步分析暂态电能质量事件的影响所必须的, 例如可采用 SARFI-x、SARFI-curve 等手段进一步分析暂态电能质量特征, 并可在后期采用不同的阈值分析事件的持续时间, 便于分析对不同信息设备的危害和影响。

表 1 事件监控信息

Tab. 1 Information about events

属性	描述
位置	10 kV 母线
时标	2012-06-30T12:36:12.2150
门槛/%	80
维持电压/%	21
持续时间/ms	81.9
有效值变化曲线	图 9 上部
对应瞬时值变化曲线	图 9 下部

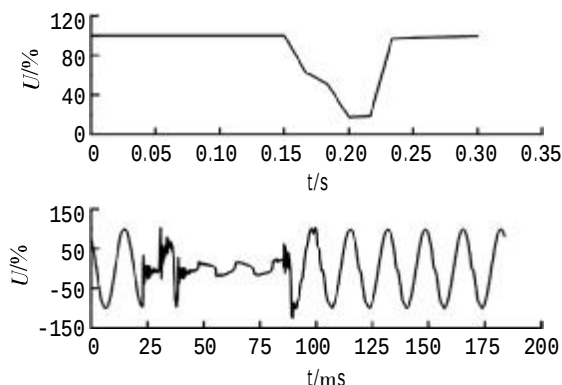


图 9 智能社区电能质量事件信息举例

Fig. 9 Showing on PQ events characteristics

2.4 基本应用

主要功能包括报表统计、记录查询、趋势分析、

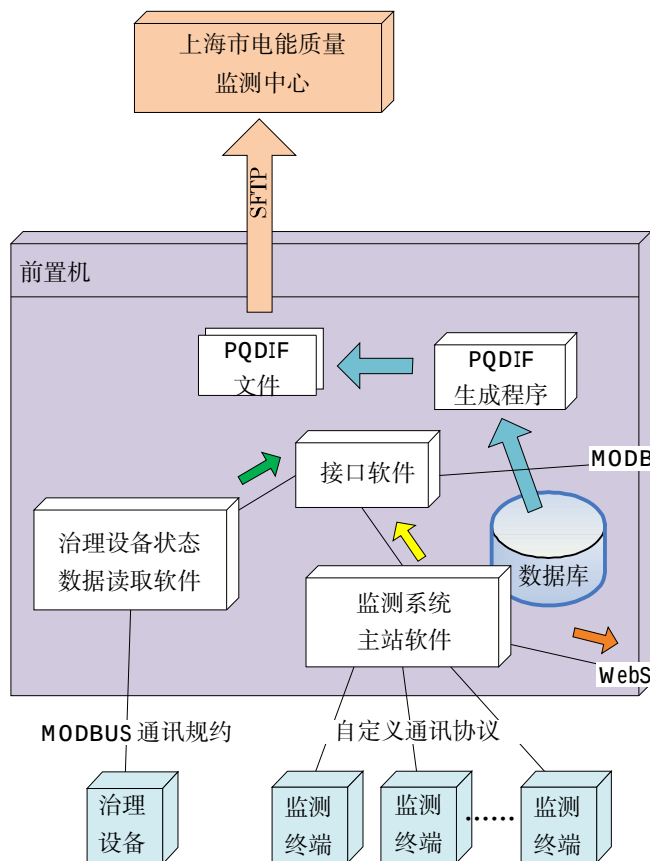


图 11 电能质量信息系统软件逻辑结构

Fig. 11 Logical structure of PQ information system

实时监测。其中报表分析根据拟定的分析报表格式,采用特定的统计方法,例如稳态电能质量指标采用 95% 概率大值法、暂态电能质量指标采用 SARFI-x 法等,提供评估时间段内电能质量指标的最终评估结果;记录查询便于对每一个记录的详细情况进行分析,如该记录是否被标记过(发生暂态事件时稳态记录需要标记),记录中所关心指标例如谐波数据所对应的其他伴随量水平如何,如电压偏差、频率偏差、不平衡度等;趋势分析给出关心指标在时间域的变化规律,可以看出不同时间段指标的变化;实时监测信息进一步从 3 s 时间段连续展示电能质量指标的实时变化情况。

2.5 电能质量数据接口

采用前置机作为数据交换中心,来完成智能社区设备与平台以及智能社区与上海市电能质量监测中心的电能质量数据的交互。前置机总共包括 5 个数据接口,其接口结构见图 10,其逻辑结构见图 11。

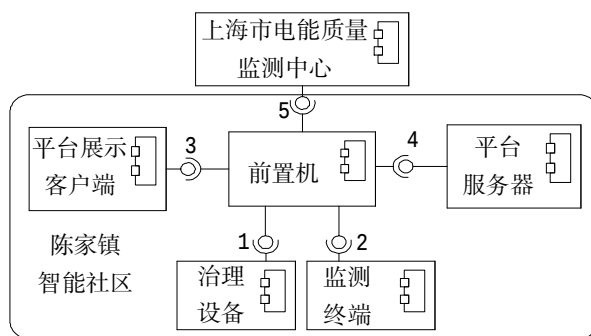


图 10 电能质量系统数据接口结构图

Fig. 10 Interface of PQ data stream

“监测系统主站软件”负责从监测终端获取监测数据,并将其存入数据库中;“治理设备状态数据读取软件”负责从电能质量治理设备获取治理设备运行状态;“接口软件”从上述两个软件接口分别获取信息,并将其转换为 MODBUS 协议格式,等待相应平台的召唤;“平台服务器端接口软件”通过 MODBUS 协议获取接口软件提供的信息数据;“暂态数据展示软件”通过 Webservice 直接从“监测系统主站软件”获取暂态数据。

2.6 系统管理

系统管理是系统安全、稳定、有效运行的重要保障,是影响系统运行和维护效率的重要因素。主要功能包括监测点信息管理、设备信息管理、时间管理、权限管理、版本管理、软件维护、设备维护、通讯链路维护等。

2.7 系统配置

系统硬件(服务器、工作站、网络设备和配套设备等)均采用主流技术通用产品,考虑可靠性、可维护性、开放性和可扩充性要求。采用的计算机系统为分布式结构,其中具有关键应用的计算机硬件有冗余配置。互连网络可采用冗余配置,以保证电能质量监测系统的可靠运行。系统各组成部分间通讯以光纤以太网为主干,每个电能质量监测终端设备具有固定的网络地址。

系统软件按多层次软件结构设计,遵循模块化设计原则,所选操作系统具有开放性、高可靠性。除系统软件、应用软件外,还配置包括数据库管理、人机管理、网络管理、系统管理等在内的支持软件,以及当地及远方在线故障诊断软件。商用数据库管理系统为主流技术产品。

3 结语

电能质量信息的监测、评估、展示是智能社区(微网)建设的主要内容之一,电能质量信息集成需要结合具体的微网结构及其所承担的主要功能综合考虑,功能层整合、数据层整合、界面层整合是智能社区(微网)电能质量信息集成技术的关键。

参考文献:

- [1] 梁有伟,胡志坚,陈允平.分布式发电及其在电力系统中的应用研究综述[J]. 电网技术,2003,27(12):71-75.
LIANG Youwei, HU Zhijian, CHEN Yunping. Survey of distributed generation and its application in power system [J]. Power System Technology, 2003, 27(12):71-75.
- [2] 胡学浩.分布式发电(电源)及其并网问题[J]. 电工技术杂志,2004(10):1-5.

- HU Xuehao. Grid-tied issues of distributed generation (power source)[J]. Electric Engineering, 2004(10):1-5.
- [3] LOPES J A P. Integration of dispersed generation with distribution networks-impacts studies [C]//Proceedings of 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting.[S. l.]:IEEE, 2002:1-7.
- [4] 王志群,朱守真,周双喜,等.分布式发电对配电网电压分布的影响[J]. 电力系统自动化,2004,28(16):56-60.
WANG Zhiqun, ZHU Shouzheng, ZHOU Shuangxi, et al. Impacts of distributed generation on distribution system voltage profile [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(16):56-60.
- [5] 中国标准出版社. GB/T 19939—2005 光伏系统并网技术要求[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
China Standard Press. GB/T 19939—2005 Technical requirements for grid connection of PV system [S]. Beijing: China Standard Press, 2005.
- [6] 王伟胜,许洪华,刘纯,等. GB/Z 19964—2012 光伏发电站接入电力系统技术规定[S]. 北京:中国电力企业联合会,2012.
LIU Weisheng, XU Honghua, LIU Chun, et al. GB/Z 19964—2005 Technical rule for connecting PV power station to electric power systems [S]. Beijing: China Electricity Council, 2012.
- [7] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20320—2006 风力发电机组电能质量测量和评估方法[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
China National Standardization Management Committee. GB/T 20320—2006 Measurement and assessment of power quality characteristics of wind turbine generator system [S]. Beijing: China Standard Press, 2006.
- [8] Standards Coordinating Committee 21. IEEE 1547—2003 IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems [S]. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003.
- [9] 刘军成,焦莉. 智能电网概念下的电能质量环境分析 [C]//中国电机工程学会 2011 年年会论文集. 贵州:中国电机工程学会,2011:11-18.
LIU Juncheng, JIAO Li. Power quality environment analyzing in smart grid [C]//CSEE Annual Meeting 2011. Guizhou: Chinese Society of Electrical Engineering, 2011:11-18.
- [10] 赵岩,胡学浩. 分布式发电对配电网电压暂降的影响 [J]. 电网技术,2008,32(14):5-9.
ZHAO Yan, HU Xuehao. Impacts of distributed generation on distribution system voltage sags [J]. Power System Technology, 2008, 32(14):5-9.
- [11] The Transmission and Distribution Committee. IEEE Std 1036—1992 IEEE guide for application of shunt power capacitors [S]. New York: IEEE, 1992.

(下转第 22 页)

- [19] GB/T 17626.12—1998 电磁兼容 试验和测量技术 振荡波抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,1998.
GB/T 17626.12—1998 Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—Oscillatory waves immunity test[S]. Beijing:The Chinese Standard Press,1998.
- [20] GB/T 17626.13—2006 电磁兼容 试验和测量技术 交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
GB/T 17626.13—2006 Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—Harmonics and interharmonics including mains signaling at AC power,low frequency immunity tests[S]. Beijing:The Chinese Standard Press,2006.
- [21] GB/T 17626.14—2005 电磁兼容 试验和测量技术 电压波动抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
GB/T 17626.14—2005 Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—Voltage fluctuation immunity test[S]. Beijing:The Chinese Standard Press,2005.
- [22] GB/T 17626.16—2007 电磁兼容 试验和测量技术 0 Hz~150 kHz 共模传导骚扰抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
GB/T 17626.16—2007 Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—Test for immunity to conducted, common mode disturbances in the frequency range 0 Hz to 150 kHz [S]. Beijing:The Chinese Standard Press,2007.
- [23] GB/T 17626.17—2005 电磁兼容 试验和测量技术 直流电源输入端口纹波抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
GB/T 17626.17—2005 Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—Ripple on DC input power port immunity test [S]. Beijing:The Chinese Standard Press,2005.
- [24] GB/T 17626.27—2006 电磁兼容 试验和测量技术 三相电压不平衡抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
GB/T 17626.27—2006 Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—Unbalance, immunity test[S]. Beijing:The Chinese Standard Press,2006.
- [25] GB/T 17626.28—2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频频率变化抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
GB/T 17626.28—2006 Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—Variation of power frequency, immunity test [S]. Beijing:The Chinese Standard Press,2006.
- [26] GB/T 17626.29—2006 电磁兼容 试验和测量技术 直流电源输入端口电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
GB/T 17626.29—2006 Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—Voltage dips,short interruptions and voltage variations on DC input power port immunity tests[S]. Beijing: The Chinese Standard Press,2006.
- [27] GJB 5792—2006 军用涉密信息系统电磁屏蔽等级划分和测量方法[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
GJB 5792—2006 The electromagnetic shielding level and measuring method for military secret information system [S]. Beijing:The Chinese Standard Press,2006.

刘易勇(1973—),男,博士,高级工程师,主要研究方向为高压电器电磁兼容性设计及试验技术等。

姚斯立(1964—),男,硕士,教授级高级工程师,主要研究方向为高电压试验技术及智能高压电器检测等。

冯建强(1974—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为高电压试验技术及高压电器计量等。

李素洁(1963—),女,大学本科,工程师,主要研究方向为仪器仪表的检定和校准等。

沈 玥(1988—),女,硕士,助理工程师,主要研究方向为电磁兼容试验及互感器检测技术等。

陈 胜(1986—),男,大学本科,助理工程师,主要研究方向为城市交通车辆及铁道车辆功率单元模块的检测技术等。

(上接第 17 页)

- [12] The Transmission and Distribution Committee. IEEE Std 1100—1999 IEEE recommended practice for powering and grounding electronic equipment[S]. New York:IEEE,1999.
- [13] The Transmission and Distribution Committee.IEEE Std C62.41.1—2002 IEEE guide on the surge environment in low-voltage (1 000 V or less) AC power circuits[S]. New York:IEEE,2002.
- [14] The Eransmission and Distribution Committee.IEEE Std C62.41.2TM—2002 IEEE recommended practice on characterization of surge in low-voltage (1 000 V or less) AC power circuits[S]. New York:IEEE,2002.
- [15] 林海雪,杜澎春,赵 刚.GB/T 18481—2001 电能质量暂时过电压和瞬态过电压[S]. 北京:中国电力科学研究院,2001.
LIN Haixue, DU Pengchun, ZHAO Gang.GB/T 18481—2001 Power quality-temporary and transient overvoltage[S]. Beijing: China Electric Power Research Institute, 2001.
- [16] IEC 61312-3:2000 Protection against lightning electromagnetic impulse (LEMP)-Part3:Requirements of surge protective devices[S]. 2000.
- [17] IEC 61643-1:1998 Surge protective devices connected to low-voltage power distribution sysytem-Part1:Performance requirements and testing methods[S]. 1998.
- 时珊珊(1985—),女,博士,研究方向为分布式电源与微网。
董瑞安(1971—),男,高级工程师,研究方向为通信与电子系统。