

网络化的电能质量综合监测系统的研究

王明渝, 周延静, 赵俊晖, 邓威

(重庆大学输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044)

摘要: 为了弥补传统电能测量仪器功能单一、存储容量小, 无法进行网络化监测等缺点, 系统利用了虚拟仪器技术在图形化集成开发环境, 信号处理分析和网络通讯方面的巨大优势, 实现了对电能质量五项稳态指标的监测, 而且系统具有很好的人机交互界面, 提出了利用 LabSQL 模块和数据库技术实现远程数据存储以及基于 B/W 模式和 Remote Panels 技术的信息发布方案, 使得用户可以通过 Internet 直接查看即时和历史电能质量数据, 实现信息共享。对本系统进行了实验室调试, 试验结果表明该系统能较好地满足实际测量的需要, 并且具有良好的效果。

关键词: 虚拟仪器; 电能质量; 谐波; 网络化

Research of the networked integrated monitoring system for power quality

WANG Ming-yu, ZHOU Yan-jing, ZHAO Jun-hui, DENG Wei

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing 400044, China)

Abstract: This system makes use of the great advantages of LabVIEW virtual instrument technology in graphical development environment, signal analysis and network communication. It could satisfy the requirement of monitoring five steady targets for power quality and have lively man-machine interface. This paper proposes the mode of the remote data storage based on the LabSQL module and database technology and the information publishing scheme based on the B/S mode and Remote Panels technology. User can inquire the data of power quality through internet. This system can make up the disadvantages of the traditional measuring instrument. The experiment results show that it can satisfy the practical requirement by debugging.

This work is supported by Innovation Foundation of Chongqing University (No.200706A1B0080208).

Key words: LabVIEW; power quality; harmonic; networked

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)01-0087-05

0 引言

电能质量的高低直接影响电力系统的供电安全。不合格的电能将严重干扰电网的稳定运行, 而且会对某些对电能质量要求较高的用户带来严重的经济损失。因此电能质量的检测与分析成为电力行业普遍关注的一个课题。虚拟仪器的兴起给电能质量测量与分析提供了新的研究途径^[1]。虚拟仪器是计算机技术、仪器技术和通信技术相结合的产物, 其目的是利用计算机强大的资源使硬件技术软件化, 分立元件模块化, 降低程序开发的复杂程度, 增强系统的功能和灵活性^[2]。采用虚拟仪器技术的电能质量分析仪可以克服传统分析仪功能单一、存储容量小、非正弦电参量测量误差大、数据处理能

力不足等难题, 并具备精确度高、工作稳定、抗干扰能力强等优点^[3]。

虚拟仪器采用图形化编程, 大大地降低了软件系统的开发周期, 也使程序具有很强的通用性。虚拟仪器的网络通信功能使得用户可以很容易地编写出具有强大网络通信能力的应用程序, 实现远程网络化控制。把网络技术与虚拟仪器相结合, 构成网络虚拟仪器系统, 是虚拟仪器系统发展的方向。

本文首先介绍了基于虚拟仪器技术的网络化的电能质量综合监测系统的总体设计架构以及硬件设计, 然后论述了各测量模块的软件设计方案, 提出了远程数据存储以及信息发布方案, 最后通过实验结果验证了系统的正确性。

1 系统的整体架构及功能

本系统采用客户机/服务器模式建立计算机网

基金项目: 重庆大学研究生科技创新基金(200706A1B0080208)

络，系统整体设计架构见图 1。

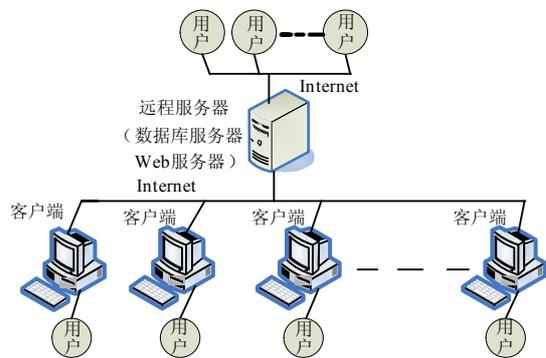


图 1 系统整体设计架构

Fig.1 Frame of the whole system

各客户端装有数据采集卡构成虚拟仪器，完成电能质量五项指标的实时监测。当某项指标超标时，系统将报警并对越限时的波形进行储存。系统将客户端监测分析后的数据通过计算机网络写入远程服务器。远程服务器端首先充当数据库服务器的角色，对各个监测站点（客户端）的测量结果进行进一步统计分析和处理，汇总出所需的电能质量日报表、年度报表等。远程服务器还充当 Web 服务器的角色，可用 Web 方式发布整个电网电能质量的总体信息，提供各种电能质量数据的下载，供用户使用。此外，有权限的用户可以利用 LabVIEW 里的 Remote Panels 技术，直接通过网页浏览器查看或控制远端各监测站点（客户端）的 VI。

2 客户端系统硬件设计

由于虚拟仪器的优势使得系统涉及的硬件较少。电能质量检测系统的硬件包括：电压电流霍尔传感器、信号调理电路、数据采集卡和计算机。客户端硬件设计框图如图 2 所示。

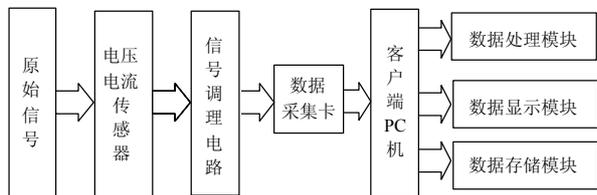


图 2 客户端硬件设计框图

Fig.2 Hardware diagram of client

2.1 电压电流传感器

本系统选用闭环补偿霍尔传感器。闭环补偿霍尔传感器具有很高的测量精度和很好的线性度，响应快，非常适合高精度仪表。特别是当被监测的电压和电流信号波形含有高次谐波时，采用一般互感

器的信号失真度大，会严重影响分析结果，而采用闭环补偿原理的霍尔传感器就能以最小失真度转换原始信号，保证数据分析的准确性。

2.2 信号调理

信号调理电路的功能是：完成信号的放大、隔离和滤波等预处理以提高测量的准确性和可靠性。信号调理电路将电压和电流信号变换为适合数据采集卡的 $-5\text{ V} \sim +5\text{ V}$ 的电压信号，并对信号进行低通滤波，以消除频谱分析时高频信号引起的频谱混叠现象。根据采样定律，要想防止频谱混叠，需滤除 $f_s/2$ 以上频率的谐波和噪声干扰。

本系统隔离部分选用了 AD 公司的专用的 CMOS 隔离放大器 AD202。AD202 具有精度高、功耗低、共模性能好、体积小和价格低等特点，因此 AD202 被广泛应用于多通道数据采集系统。抗混叠滤波器是前向通道的主要组成部分，滤波芯片采用 MAXIM 公司的 MAX275，组成四阶低通滤波器。使用 MAX275 的关键在于选择合适的中心频率 f_0 ，品质因素 Q ，低通滤波器的增益 H_{OLP} 。根据参考数据手册的外围电阻计算公式算出电阻的阻值，达到滤除信号中 $f_s/2$ 以上频率的谐波和噪声干扰的目的。

2.3 数据采集卡

高精度的 A/D 转换是虚拟测试仪器的一个重要环节。A/D 的精度与运行的可靠性直接影响到电能质量的分析结果。本监测装置采用 NI 公司 M 系列的 PCI-6251 型数据采集卡。该数据采集卡具有 8 对差分输入/16 个单端输入，A/D 转换精度可达 16 位，多通道时的最大采样率为 1.00 MS/s，可将其直接插入工控机扩展槽，在计算机控制下对多路信号进行每周期 256 点的高速采样。

3 系统软件设计

系统总体软件设计的流程图如图 3 所示。其中采样设置主要是对采样率、采样点数和电压、电流的变比等进行设置。

电压偏差测量模块计算电压的偏差值；频率偏差测量模块计算频率的偏差值；三相不平衡度测量模块包含了对三相不平衡度的计算和对电压、电流相位以及正序、负序、零序分量的计算；电压波动及闪变测量模块包含了对电压波动的计算和对短时间闪变值、长时间闪变值的计算；谐波测量模块包含了对各次谐波分量、含有率、谐波总畸变率的计算及谐波柱形图显示，还能实现直接对 n 次谐波信息进行查询；电压电流实时波形监测模块包含了对电压、电流各相峰值、有效值的测量以及对各相的功

率计算。

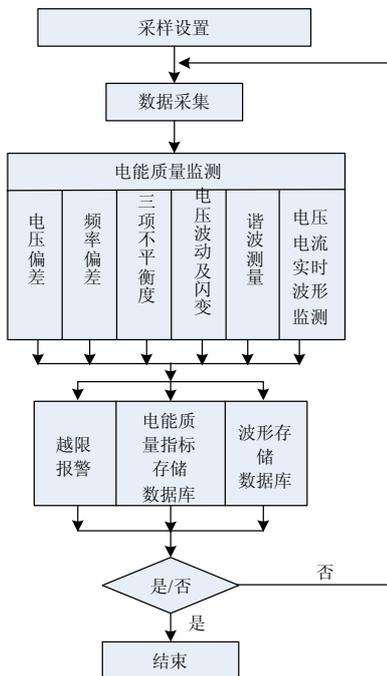


图 3 系统总体软件设计流程图
Fig.3 Software flow chart of system

该系统对电能参数的测量基本上遵循传统的测量方法，如：频率检测使用过零检测法；三相不平衡度检测采用几何法推导出的简单不平衡度计算公式进行计算^[4]；闪变测量按照 IEC 推荐的闪变仪的规范进行设计^[5-6]。在已知或测得谐波基波频率的情况下，对谐波的分析可以采用基于三角基函数的神经网络分析方法，算法详见文献^[7]。由于算法用到了神经网络，那么可以利用 MATLAB Script 节点调用 MATLAB 程序。

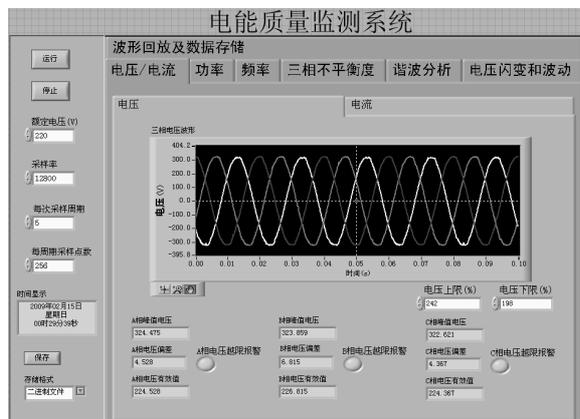


图 4 系统总体应用程序界面
Fig.4 Front panel of the whole system

MATLAB Script 节点与公式节点类似，可以根据需要添加输入输出向量，实现与 LabVIEW 程序

中的数据通讯。值得注意的是，在添加输入输出向量时，一定要注意选择恰当的数据类型。在 MATLAB Script 节点框架的右键菜单中选择 Import，可将编写好的 M 语言直接调入。

系统的总体应用程序界面（前面板）如图 4 所示。

4 数据存储与数据发布

本系统为了实现网络化的电能质量综合监测系统，一方面，客户端把采集分析得到的电能质量参数准确地上传到远程数据库服务器进行数据的管理、汇总；另一方面，采用 B/W(Browser/Web)模式和 LabVIEW 的 Remote Panels 技术，使有权限的用户通过 Internet 在任何地点都可实时查看电能质量状况以及历史数据，实现数据的网络共享。

4.1 数据存储

LabVIEW 的数据库访问功能包 (LabSQL) 是一个免费的、多数据库、跨平台的工具包，它利用 Microsoft ADO 以及 SQL 语言来完成对数据库的访问，将复杂的底层 ADO 和 SQL 操作封装成一系列的 LabSQL VIs，简单易用。在使用 LabSQL VIs 之前，首先需要在 Windows 操作系统中的 ODBC 数据源中创建 DSN (data source name, 数据源名)。LabSQL 与数据库之间的连接就是建立在 DSN 基础上的。在创建 DSN 的时候首先需要选择新数据源的驱动程序为“SQL Server”，然后指定新数据源想要连接到的 SQL 服务器，并键入新数据源的名称和与之关联的数据库，最后是测试新的数据源。通过测试完成对新数据源的建立后，这时 LabSQL VIs 就可以利用这个 DSN 访问与之关联的数据库了，也就是可以方便地通过 LabSQL VIs 完成对数据库的查询、添加、删除、修改等操作^[8-9]。利用 LabSQL VIs 对数据库进行操作的程序框图如图 5 所示。

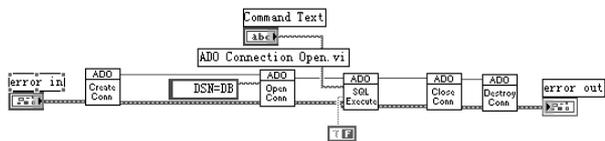


图 5 数据库操作程序框图

Fig.5 Database operation program framework

LabSQL VIs 可以对指定的 SQL 服务器中（在创建 DSN 时填写）的 DB 数据源所关联的数据库进行操作。所指定的服务器既可以是本地的也可以是远程的。如果是远程服务器，那么对其上的数据库进行操作也就是实现了数据库的远程操作。这也是实现基于虚拟仪器的网络化电能质量监测系统的一个重

要组成部分。“Command Text”端口是对数据库进行操作的SQL语句，编写恰当的语句就可以对数据进行适当的操作，以写入数据库为例，其语法为：insert into 表名 (d1, d2, ...) values ('dd1', 'dd2', ...)

“表名”为DB数据源所关联的数据库中表的名字，也就是指定想要插入新的数据的表，“dd1”和“dd2”为字段“d1”和“d2”的值。

4.2 电能质量信息发布

4.2.1 采用 B/W (Browser/Web)模式

在服务器端和用户之间，对信息的发布运用了B/W模式。服务器端通过Web方式发布对数据库数据分析、汇总后所得到的各种电能质量信息。具体实现方案是通过利用Macromedia Dream weaver软件及ASP技术编写动态网页，使有访问权限的用户通过Internet访问数据库查询当前和历史电能质量数据，并提供各种电能质量报告的下载。

4.2.2 采用 Remote Panels 技术实现信息发布

在客户端和用户之间，对信息的发布运用了Remote Panels技术。这样有访问权限的用户就可以直接通过浏览器查看远程VI，并可以进一步获得远程虚拟仪器的控制权。具体步骤如下：

第一步：在客户端计算机上运行LabVIEW，并配置Web Server。Web Server的配置包含三个方面：文件路径和网络设置，用户访问权限设置，VI访问权限设置。第二步：在LabVIEW的主菜单中选择tools>>Web Publishing Tool，在弹出的对话框中输入VI的名称，并一定将生成的HTML文件保存在Web Server Configuration所指定的根目录中。第三步：在网页浏览器的地址栏输入想要查看或操作的远程VI的网址。这时Remote Panels就可以出现在浏览器上，用户可以点击鼠标在菜单中获取Remote Panels的控制权。

5 仿真测试

为了验证系统的正确性，用福禄克公司Topas 2000电能质量分析仪和本监测系统对同一电压波形进行处理，并将测量结果进行比较。由于福禄克公司的Topas2000电能质量分析仪是第一款实现IEC61000-4-30A级精度，测量到的数据精确有效，符合EN50160标准，被公认为电能质量专家用于调查严重电能质量问题的首选工具。所以完全可以通过与其结果的比较，验证系统的正确性和准确性。以测量实验室A相电压为例，比较结果如表1所示。

从表1可以看出：基于虚拟仪器的电能质量监测系统，可以十分准确地测到电压有效值，电压峰值，基波频率，基波电压有效值及各次谐波的有效

值，并可以根据设定的限值进行报警。

表1 不同方法结果比较

项目	Topas2000	系统测量
	测量值/V	值/V
电压有效值	221.90	221.90
电压峰值	295.79	295.79
基波电压有效值	221.56	221.56
基波频率	50.00/HZ	50.00/HZ
2次谐波	0.36	0.36
3次谐波	11.63	11.63
4次谐波	0.14	0.14
5次谐波	1.80	1.80
6次谐波	0.03	0.03
7次谐波	1.25	1.25
8次谐波	0.08	0.08
9次谐波	2.36	2.36
10次谐波	0.04	0.05
11次谐波	1.24	1.24
12次谐波	0.06	0.06
13次谐波	1.38	1.38
14次谐波	0.04	0.05
15次谐波	1.14	1.14

6 结束语

将虚拟仪器应用到电能质量监测系统里，其强大的信号处理和数据分析模块，不仅使系统具有较高的计算精度，而且具有很好的人机交互界面。此外由于虚拟仪器可以直接对数据库进行操作，还有强大的网络通讯能力，使得建立网络化的电能监测系统成为现实，这都是传统仪器无法比拟的优点。

参考文献

- [1] 肖湘宁, 徐永海, 刘连光. 供电系统电能质量[M]. 北京: 华北电力大学出版社, 2000.
XIAO Xiang-ning, XU Yong-hai, LIU Lian-guang. Power Quality of Power Supply System[M]. Beijing: North China Electric Power University Press, 2000.
- [2] 侯国屏, 王坤. LabVIEW7.1编程与虚拟仪器设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
HOU Guo-ping, WANG Kun. Labview7.1 Programming and Virtual Instrument Design[M]. Beijing: Qinghua University Press, 2005.
- [3] 邓少军, 张振川. 电能质量监测设备的发展[J]. 电测与仪表, 2005, 42(473): 7-9.
DENG Shao-jun, ZHANG Zhen-chuan. Development of Power Quality Monitoring System Device[J]. Electrical

- Measurement & Instrumentation, 2005, 42 (473): 7-9.
- [4] 林海雪, 李世林, 刘惠民. 电压电流频率和电能质量国家标准应用手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
LIN Hai-Xue, LI Shi-lin, LIU Hui-min. Voltage and Current Frequency and Application Manual of National Standard for Power Quality[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.
- [5] 马玉龙, 刘连光, 等. IEC 闪变测量原理的数字化实现方法[J]. 中国电机工程学报, 2000, 21(11): 92-95.
MA Yu-long, LIU Lian-guang, et al. Research of Digital Flicker Meter Based on IEC Standard[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 21 (11): 92-95.
- [6] Salvatore Caldara, Salvatore Nuccio, Ciro Spataro. A Virtual Instrument for Measurement of Flicker[J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement, 1998, 47 (10): 1155-1158.
- [7] 王小华, 何怡刚. 一种新的基于神经网络的高精度电力系统谐波分析算法[J]. 电网技术, 2005, 29 (3): 72-75.
WANG Xiao-hua, HE Yi-gang. A New Neural Network Based Power System Harmonics Analysis Algorithm with High Accuracy[J]. Power System Technology, 2005, 29 (3): 72-75.
- [8] 张伏生, 曹进, 魏磊. 基于虚拟仪器技术的电能质量综合测量分析系统的研制[J]. 华北电力技术, 2003, (6): 14-17.
ZHANG Fu-sheng, CAO Jin, WEI Lei. Development of Integrated Measurement and Analysis System for Power Quality on Virtual Instruments[J]. North China Electric Power, 2003, (6): 14-17.
- [9] 魏佩瑜, 李震梅. 基于虚拟仪器的电能质量网络监测系统的实现[J]. 微计算机信息, 2007, 8 (1): 176-177.
WEI Pei-yu, LI Zhen-mei. Realization of Power Quality Network Monitoring System Based on Virtual Instrument[J]. Microcomputer Information, 2007, 8 (1): 176-177.

收稿日期: 2009-02-04; 修回日期: 2009-03-04

作者简介:

王明渝(1960-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电能变换及控制, 电气传动等;

周延静(1984-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电能质量检测与分析, 神经网络理论在谐波检测中的应用;

E-mail: yanjing2352650@sina.com

赵俊晖(1985-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电能变换及控制。

(上接第 22 页 continued from page 22)

- [7] Calderón A J, Vinagre B M, Feliu V. Fractional Order Control Strategies for Power Electronic Buck Converters [J]. Signal Processing, 2006, 86(10): 2803-2819.
- [8] Angulo F, Olivar G, Taborda A. Continuation of Periodic Orbits in A ZAD-Strategy Controlled Buck Converter [J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2008, 38(2): 348-363.
- [9] Hsieh F H, Yen N Z, Juang Y T. Optimal Controller of A Buck DC-DC Converter Using the Uncertain Load as Stochastic Noise [J]. IEEE Trans on Circuits and Systems II: Express Briefs, 2005, 52(2): 77-81.
- [10] Papafotiou G A, Margaritis N I. Calculation and Stability Investigation of Periodic Steady States of the Voltage Controlled Buck DC-DC Converter [J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2004, 19(4): 959-970.
- [11] Garcera G, Figueres E, Pascual M, et al. Analysis and Design of a Robust Average Current Mode Control Loop for Parallel Buck DC-DC Converters to Reduce Line and Load Disturbance [J]. IEE Proceedings of Electric Power Applications, 2004, 151(4): 414-424.
- [12] Lin F J, Shieh P H, Chou P H. Robust Adaptive Backstepping Motion Control of Linear Ultrasonic Motors Using Fuzzy Neural Network [J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 2008, 16(3): 676-692.
- [13] Jankovic M. Forwarding, Backstepping, and Finite Spectrum Assignment for Time Delay Systems [J]. Automatica, 2009, 45(1): 2-9.
- [14] Wen C Y, Zhou J, Wang W. Decentralized Adaptive Backstepping Stabilization of Interconnected Systems with Dynamic Input and Output Interactions [J]. Automatica, 2009, 45(1): 55-67.
- [15] Lin F J, Teng L T, Shieh P H. Intelligent Adaptive Backstepping Control System for Magnetic Levitation Apparatus [J]. IEEE Trans on Magnetics, 2007, 43(5): 2009-2018.
- [16] Lin F J, Chang C K, Huang P K. FPGA-Based Adaptive Backstepping Sliding-Mode Control for Linear Induction Motor Drive [J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2007, 22(4): 1222-1231.

收稿日期: 2009-02-06; 修回日期: 2009-04-05

作者简介:

张天瑜(1980-), 男, 讲师, 技师, 硕士, 研究方向为电气工程中的多种物理场耦合理论及其数值分析, 电力电子系统中的复杂行为、先进控制、鲁棒控制与故障诊断。

E-mail: zhangtianyu163@tom.com