

基于 LabVIEW 的配电网谐波在线监测与分析系统

许童羽^{1,2}, 程浩忠¹, 周玉宏², 陈春玲²

(1.上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240; 2.沈阳农业大学信息与电气工程学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要: 基于 LabVIEW 开发平台设计了配电网谐波在线监测与分析系统, 其基本设计思想是运用虚拟仪器技术取代传统的谐波监测分析仪, 使系统功能更加灵活。本系统既可加载实际电网采集的谐波信号, 也可加载 LabVIEW 平台模拟生成的畸变正弦信号。对加载的谐波信号能够进行监测, 并运用不同算法进行分析。实验结果表明, 在谐波分析中, 采用基于汉宁窗的高精度 FFT 谐波分析方法可以提高分析精度。系统具有分析效果好、易于功能扩展等优点。

关键词: 谐波监测; 虚拟仪器; LabVIEW; 畸变正弦信号; 高精度 FFT 法

A LabVIEW-based system for distribution network harmonics monitoring and analysing

XU Tong-yu^{1,2}, CHENG Hao-zhong¹, ZHOU Yu-hong², CHEN Chun-ling²

(1.Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2.Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: A virtual harmonic system based on the development platform of LabVIEW is developed. The basic design idea of this system is virtual instrument(VI). The system is suitable to add the harmonic signal collecting from actual electrified wire netting, and also load the platform simulating harmonic signal coming into being. And the on-line harmonic monitoring is carried out through this system to reveal the state of its basic wave and harmonic waves. During the analysis of harmonics, FFT algorithm with high accuracy is used to improve accuracy of harmonics analysis. This system has advantages of better analyzed effect and low cost, and can be extended easily.

Key words: harmonic monitoring; virtual instrument; LabVIEW; distorted sine signal; FFT algorithm with high accuracy

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)01-0063-04

0 引言

随着电弧炉、电气化铁路、电力电子设备等非线性电力负荷的增加, 电网中的谐波含量越来越高, 谐波含量的增加, 将直接影响发供电设备的安全和优质运行。有可能增加电网发生谐振的可能, 从而产生过电压或过电流, 降低电网的可靠性; 增加电网损失, 降低了电气设备的效率和利用率; 加速设备的绝缘老化, 缩短设备的使用寿命, 降低电能质量; 影响继电保护、计算机、测量和计量仪器以及通信系统的正常运行等。研究电网中的谐波首先必须能准确地对电网中的谐波进行监测, 谐波的实时准确监测能反映出电网的电能质量, 以此作为研究问题和解决问题的最终依据。随着现代计算机技术和网络技术的飞速发展, 结合虚拟仪器技术, 采用先进技术手段, 建立供电系统谐波质量的远程、集中监测和分析系统, 对实时综合监测电能质量、保证供电系统安全运行, 具有重要的理论和实际意义。

1 虚拟仪器开发平台简介

虚拟仪器(Virtual Instrument VI)的概念是由美国国家仪器公司(NI)最先提出的。它是以计算机为核心的、通过测量应用软件支持的(若干独立仪器功能由软件实现)、具有虚拟面板、必备的仪器硬件及通信功能测量信息处理设备。与传统仪器相比, 虚拟仪器依托现代计算机技术, 在智能化程度、处理能力、性能价格比等方面都具有明显的技术优势。

LabVIEW 是虚拟仪器领域中最具有代表性的图形化编程开发平台, 是目前国际上应用最广的数据采集和控制开发环境之一。本系统采用的 LabVIEW7.1 是一种基于图形编程语言(G 语言)的功能强大的开发环境, 它是用各种图标、图形符号、连线等编程。编程采用流程图作为一个问题的图形化解决方案, 流程图也是虚拟仪器的源代码。图的图形化人机界面使用的都是测试工程师熟悉的旋钮、开关、波形图等, 非常直观形象。

LabVIEW 环境下开发的虚拟仪器的最大特点是当系统需要发生变化时,用户可以根据具体情况对功能方框作必要的补充、修改,或者对框图程序的软件进行结构调整,而不需改变硬件来适应变化的需要,从而大大节省成本。

2 系统的构成方案

本监测系统的功能实现采用虚拟仪器技术的思想,将传统的硬件仪器功能集成,即将硬件软件化。

2.1 系统的硬件设计

该系统的设计由电量传感器、信号调理电路、数据采集卡、用户接口设计等组成,系统结构图如图1所示。

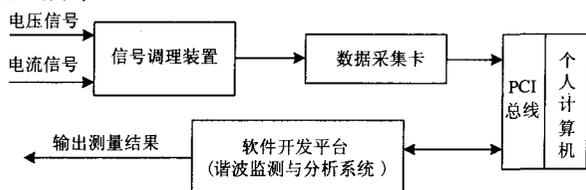


图1 监测系统总体构架

Fig.1 Monitoring system structure

2.1.1 硬件实现功能简介

各路传感器同时对电力系统中的谐波源的电压、电流进行采样,可以通过电压传感器和电流传感器将高电压、大电流强电信号转换成小电压、弱电流的弱电信号送入信号调理装置。

信号调理板由电量传感器和有源低通滤波器构成。由电量传感器将电压和电流信号变换为适合数据采集卡采样的0~5 V的电压信号,经抗混叠滤波器对信号进行低通滤波,以消除频谱分析时高频信号可能引起的频率混叠现象。

数据采集卡选用台湾凌华的DAQ2010多功能数据采集卡,该卡主要技术特性为:32位PCI总线,即插即用,14位A/D分辨率,4通道同步模拟输入,采样频率最高可达2 MHz将数据采集卡直接插入计算机PCI扩展槽,在PC机控制下对调理板上多路信号进行交流采样。

2.2 系统软件功能

本系统软件由 LabVIEW 特有的图形语言开发。由若干个功能模块组合成为一体。本系统软件由波形显示、谐波分析与柱图显示、参数显示、频谱分析、越线报警等模块组成,系统软件及模块构成的基本框图如图2所示。

2.2.1 谐波分析模块基本原理

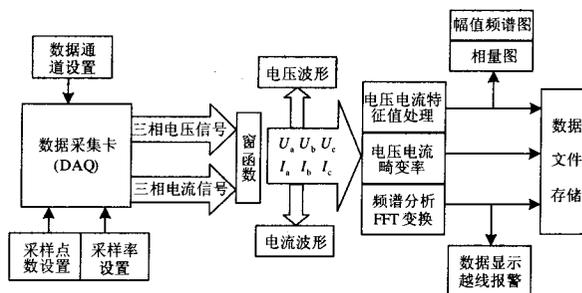


图2 谐波在线监测系统部分软件结构图

Fig.2 Software structure of on-line harmonic monitoring system

在电力系统中,对周期为 $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$ 的非正弦波电

量进行傅立叶级数分解,除了得到与电网基波频率相同的分量,还得到一系列大于电网基波频率的分量。下面以电压 $u(t)$ 为例,在满足狄里赫利条件下,可分解为:

$$u(t) = a_0 + \sum_{n=1}^k A_n \sin(n\omega_0 t + \phi_0)$$

(其中 $n=1,2,3,\dots,k$)

式中:频率为 $n\omega_0$ 的项即为谐波项, A_n 为 n 次谐波的幅值。谐波频率与基波频率的比值 ($n = \frac{f_n}{f_1}$) 称为谐波次数。

模拟信号的连续时间频谱可以表示为:

$$U(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-j\omega t} dt$$

$u(t)$ 经采样后变为 $u(nT)$, T 为采样周期。离散信号 $u(nT)$ 的傅立叶变换可以表示为:

$$U(k) = \sum_{n=0}^{N-1} u(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}$$

(其中 $k=0,1,2, \dots, N-1$)

LabVIEW7.1 开发平台具有强大的信号分析与数学运算功能,提供了丰富的库函数和子程序用于科学计算。采用它的自功率谱 VI-Auto Power Spectrum,可用 FFT 求出时域信号的自功率谱,而谐波分析 VI-Harmonic Analyzer 能在这个基础上给出各次谐波的频率和幅值,并按下式给出总谐波畸变率(THD)。

$$\%THD = \frac{100\sqrt{A(f_2)^2 + A(f_3)^2 + \dots + A(f_m)^2}}{A(f_1)}$$

式中: $A(f_1)$ 为基波的幅值; $A(f_n)$ 为第 n 次谐波的幅值; m 为总谐波次数。

电压畸变波形的第 n 次谐波电压的含有率为:

$$HRU_n = \frac{u_n}{u_1} \times 100\%$$

由于在谐波分析模块中使用快速傅里叶变换 FFT 存在着栅栏效应和频谱泄露问题, 使算出的信号参数如频率、幅值和相位不准, 尤其是相位误差很大, 影响了谐波测量的精度。为保证测量精度, 本系统需要采用相应的窗函数对其进行补偿。LabVIEW 提供了海明窗、汉宁窗等十二种窗函数, 其中汉宁窗减少泄露效果比较好, 计算量偏小, 应用广泛。汉宁窗的具体算法是:

$$Y[i] = 0.5X[i][1 - \cos \omega]$$

式中: $\omega = (2 \times \pi) i / N$, N 为信号采集样本量

3 基于 LabVIEW 平台上的谐波分析

在 LabVIEW 的平台上模拟分析谐波的 VI 编程 (即后面板) 如图 3 所示。由多谐信号附加噪声的波形发生器 (均方值为 0.2 的高斯白噪声) 产生的奇次谐波信号叠加后的畸变的正弦波, 这一信号源分别接通三个分支, 可分别显示信号源时域上的波形图, 以便直观地看到畸变的正弦波; 可以得到谐波相对基波的幅值比例, 即总谐波畸变率 THD, 以及基波信号对谐波信号的均方值比例 (SINAD); 通过 FFT 运算器, 可显示其频域的波形图。

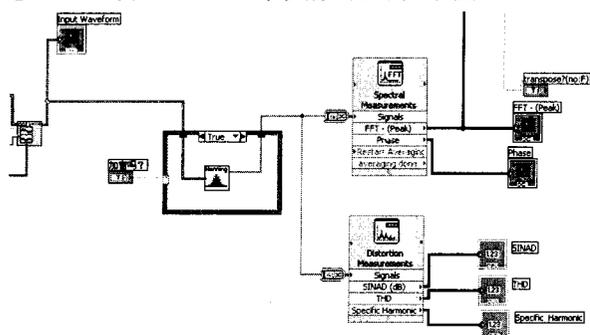


图3 LabVIEW平台上的谐波分析

Fig.3 Harmonic analysis on the platform of LabVIEW

运行该程序后, 其对应的前面板 (图 4 所示) 就显示所产生的畸变正弦信号时域波形图和频谱图。

通过时域波形图可以很直观地看出这一信号源已不是标准正弦信号, 产生了畸变, 但仍有明显的周期性; 从频谱图上也可以很直观地看出其基波与谐波分量, 基波为 50 Hz, 谐波频率也明显按整数倍增加为 150 Hz, 验证了谐波频率是基波频率的整数倍。并且, 显示出其相应的 SINAD 值 (基波信

号对谐波信号的均方值比例) 和总谐波畸变率 THD 的值。

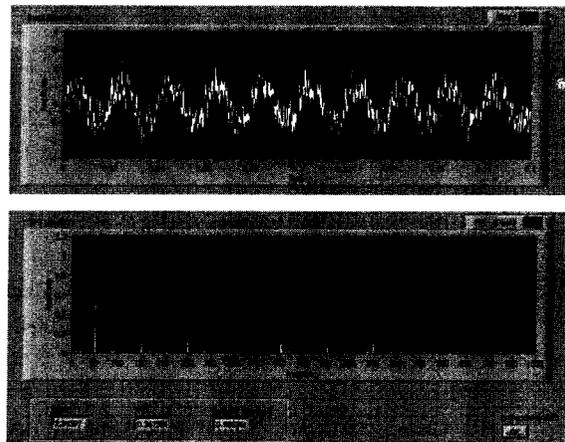


图4 时域波形图和频域频谱图

Fig.4 Waveform in time domain and frequency chart diagram in frequency domain

在频谱图中, 将数据写入电子表格文件, 以便可以将数据以 ASCII 格式保存到一个新的文件, 然后就可以用一个电子表格程序打开该文件。从而可以准确地反映出频谱图相应的基波或各次谐波的频率和幅值, 得到准确的频谱信息。对该信号进行基于汉宁窗的高精度 FFT 算法与 FFT 算法的计算结果如表 1 所示。可见此算法精度远高于 FFT。

表1 两种方法的幅值计算结果

Tab.1 Calculation results of two algorithms

谐波次数	频率 /Hz	加窗前幅值 /V	加窗后幅值 V
1	50	1.005	0.991
3	150	0.200	0.202
5	250	0.203	0.194
7	350	0.093	0.100
9	450	0.207	0.199
11	550	0.093	0.101
13	650	0.197	0.190
15	750	0.411	0.396

4 结束语

LabVIEW 具有强大的信号分析与数学运算能力, 提供了丰富的库函数和应用子程序, 可以很方便地调用其自带的 VI 程序组成虚拟仪器来进行谐波分析, 得出总谐波畸变率 (THD)、基波信号对谐波信号的均方值比例 (SINAD) 以及基波和各次谐波的频率与幅值的准确值。把这套软件用于供电系统中对电压电流谐波进行监测, 具有极大的现实意义。

由于虚拟仪器的核心是软件, 所以采用虚拟仪器技术构建监测平台, 具有开发效率高, 可维护性

强;测试精度高,节省成本,便于设备更新和功能转换与扩充,因此虚拟测试仪在测控领域内有着很好的发展前景。

参考文献

- [1] 程浩忠.电能质量[M].北京:清华大学出版社,2006.
CHENG Hao-zhong.Power Quality[M].Beijing:Tsinghua University Press,2006.
- [2] 雷振山. LabVIEW 7 Express实用技术教程[M]. 北京:中国铁道出版社, 2004.
LEI Zhen-shan. LabVIEW 7 Express Technique Tutorial[M]. Beijing: China Railway Press, 2004.
- [3] 胡广书. 数字信号处理[M]. 北京:清华大学出版社, 1997.
HU Guang-shu.Digital Signal Processing[M].Beijing: Tsinghua University Press,1997.
- [4] 周志宇,李裕能,郭松梅. 基于虚拟仪器技术的谐波在线监测系统的设计与实现[J]. 自动化仪表, 2005, 26(12): 34-36.
ZHOU Zhi-yu, LI Yu-neng, GUO Song-mei.Design and Implementation of On-line Harmonics Monitoring

System Based on Technology of Virtual Instrument[J]. Process Automation Instrumentation, 2005, 26(12): 34-36.

- [5] 胡倩,唐震洲. 基于虚拟仪器技术的电力谐波检测系统[J]. 电子测量技术, 2007, 30(2): 90-92.
HU Qian, TANG Zhen-zhou.Electric Harmonic Test System Based on Virtual Instrument[J].Electronic Measurement Technology,2007, 30(2): 90-92.
- [6] 赵成勇,高本锋,贾秀芳. 基于 LabVIEW 的电能质量综合检测系统[J]. 华北电力大学学报, 2006, 33(2): 63-67.
ZHAO Cheng-yong,GAO Ben-feng,JIA Xiu-fang. Comprehensive Power Quality Detecting System Based on LabVIEW[J].Journal of North China Electric Power University, 2006, 33(2): 63-67.

收稿日期: 2007-04-08; 修回日期: 2007-09-04

作者简介:

许童羽(1967-),男,博士,副教授,硕士生导师,主要从事电力企业信息化、电能质量分析等领域的科研工作。
E-mail: yatongmu@163.com

(上接第 47 页 continued from page 47)

2) 利用聚类分析,按照相似程度将历史数据样本归类,使同一类内样本的相似性最大,而不同类内样本的相似性最小。这样充分考虑并利用了负荷的时间及空间的相似性,有助于改进负荷预测的精度。

3) 本文将粗糙集理论与聚类分析结合起来,利用粗糙集得出的约简结果进行聚类分析,提出了一种基于粗糙集理论的关联聚类负荷预测方法,实际算例验证,该方法具有较好的精度。

参考文献

- [1] Fu C W, Nguyan T T. Models for Long-term Energy Forecastingp[A]. In:IEEE PES General Meeting[C]. 2003.235-239.
- [2] 牛东晓,曹树华,赵磊,等. 电力系统负荷预测技术及其应用[M]. 北京:中国电力出版社, 1998.
- [3] Kandil M S, El-Debeiky S M, Hasanien N E. Long-term Load Forecasting for Fast Developing Utility Using Knowledge-based Expert System[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(2),491-496.

[4] Kandil M S, El-Debeiky S M, Hasanien N E. The Implementation of Long-term Forecasting Strategies Using a Knowledge-based Expert System II[J]. Electric Power Systems Reaserch, 2001, 58(1):19-25.

- [5] 张文修,吴伟志. 粗糙集理论与方法[M]. 北京:科学出版社, 2005.
- [6] 马玉良. 知识获取中的 Rough Sets 理论及其应用研究[D]. 浙江:浙江大学, 2005.
- [7] 吴军勇. 聚类算法的分析与研究[D]. 南京:海军工程大学, 2005.
- [8] 许天周. 应用泛函分析[M]. 北京:科学出版社, 2003.

收稿日期: 2007-05-22; 修回日期: 2007-08-08

作者简介:

黎平(1961-),女,硕士,教授,主要研究方向为电力系统分析与控制;

宋坤(1982-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统规划;E-mail: sk9754569@sohu.com

肖白(1973-),男,博士研究生,讲师,主要研究方向为电力系统稳定性及继电保护研究。