

# 虚拟仪器在电力系统频率测量中的应用

何红艳, 游大海

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 介绍了虚拟仪器 VI 的概念、特点以及当今流行的虚拟仪器开发软件 LabVIEW, 并以该软件为开发平台, 设计实现了应用于电力系统频率测量的虚拟仪器系统, 该系统在软硬件结构上的设计都不同于传统的测量系统。实践证明, 采用基于虚拟仪器技术的电力系统频率测量新技术, 能提高测量的实时性和准确性, 并且大大降低了装置的成本和开发周期。

**关键词:** 虚拟仪器; 频率测量; LabVIEW

**中图分类号:** TM935.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2004)24-0041-03

## 0 引言

频率是电力系统的主要参数。电力系统的频率一方面作为电能质量的指标, 需加以动态监测, 另一方面作为实施安全稳定控制的重要状态反馈量, 要求能够实时重构。因此, 频率测量成为电力系统运行控制的重要技术。此外, 在电参量的微机测量时, 要对交流电信号进行同步采样, 这需要实时测量和跟踪电力系统频率。

目前, 频率测量的方法主要分为两种: 以硬件电路为主的硬件测量和基于交流采样值处理的软件测量法。在基于虚拟仪器的测量系统中, 几乎所有的功能都能用软件的方法来实现。

在电力系统运行中, 噪声、谐波和随机干扰对测量点电压信号造成的污染, 各种扰动操作等造成的相位跃变, 使得电力系统的电流或电压波形都要发生畸变。因此零点法测频受谐波、噪声和非周期分量的影响很大, 实时性不好, 测量精度低<sup>[1]</sup>。

用解析法测频时, 一般将测量量  $f$  或  $f$  表示为采样值的函数来估计, 为简化分析与计算, 一般采用较简单的信号数学模型, 因此难以考虑谐波、非周期分量等的影响。

本文采用傅里叶算法, 根据傅里叶变换从受到干扰污染的输入信号中抽取基波电压分量, 利用电压相角的变化来测量系统频率, 该方法具有很强抗干扰能力, 计算简单快速, 测量范围大且便于实现。而且通过自适应调整采样间隔, 可使测量频率的精度得到很大提高。

虚拟仪器 (VI—virtual instruments) 技术是测量仪器发展史上的一次革命, 从本质上讲, 它是测量技术与计算机技术相结合的产物。本文采用虚拟仪器的

思想, 充分利用现代计算机技术, 用软件的方法实现了电力系统频率的测量。

## 1 虚拟仪器 VI 及 LabVIEW 简介

虚拟仪器就是在通用计算机上加上一组硬件或软件, 使得使用者在操作这台计算机时, 就像是在操作一台他自己设计的专用的传统电子仪器。虚拟仪器以软件开发为主, 硬件只是一个安插在计算机内的数据采集卡, 起到信号输入输出的作用, 仪器的其它显示、分析、计算等数据处理功能全部通过软件编程来实现, 软件是整个仪器的关键。因此在虚拟仪器中, 用户可以自己设计或定义新的理论和新的算法来适应不同的测量需求, 仪器的功能更加灵活、强大, 且更容易同网络、外设及其它应用连接, 可很快更新所设计的仪器, 这样不仅价格低, 还能减少仪器的研制时间, 降低仪器的维护费用。所以有“软件就是仪器”之说<sup>[2]</sup>。但虚拟仪器技术并不是简单地以软件代替硬件的一种技术, 它是计算机软、硬件技术的发展及计算机的广泛应用的必然结果, 同时也是测控系统对各种测量仪器设备提出的更高的要求。

LabVIEW 是美国国家仪器公司 (NI) 提供的一套功能卓越的用于 VI 开发的可视化软件平台, 是目前公认的代表虚拟仪器技术最高水平的系列产品之一。其强大的硬件驱动、图形显示能力和便捷、灵活的快速程序设计, 为测试、过程控制和工业自动化提供了优秀的解决方案。LabVIEW 的编程是完全图形化的, 不同于其它文本方式的编程工具, 这种“所见即所得”的直观效果给工程技术人员带来了极大的方便。LabVIEW 提供了工业界最大的仪器驱动程序库, 以及不同工业领域的各种控件模型, 用户可以根据需要, 在基本控件模型的基础上进行继承优化。

LabVIEW 同时还支持通过 Internet, ActiveX, DDE 和 SQL 等交互式通信方式实现数据共享, 也支持面向对象的程序设计。在 LabVIEW 开发环境下, 用户可以根据需要选择合适的控件模型, 设计出既满足用户要求又美观实用的 VI<sup>[3]</sup>。

## 2 傅氏算法频率测量原理

### 2.1 基本原理

假设输入信号是角频率为  $\omega$  的正弦电压

$$u(t) = A \sin(\omega t + \phi) = A \sin(\omega_0 t + \phi) = A \sin \phi \cos \omega_0 t + A \cos \phi \sin \omega_0 t$$

式中:  $\omega = \omega_0 + \Delta\omega$ ,  $\phi = \phi_0 + \Delta\phi = 2\pi f t + \phi_0$ , 为初相位,  $A$  为幅值,  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ,  $f_0 = 50$  Hz。

对  $u(t)$  信号每周采样  $N$  次, 得到采样序列  $\{u_k\}$ 。

$$u_k = A \sin(2\pi f_0 k \frac{T_0}{N} + \phi) = A \sin(\frac{2\pi}{N} k + \phi)$$

对  $u_k$  进行离散傅里叶变换, 可以得到基波分量的实部和虚部:

$$U_R = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \cos \frac{2\pi}{N} k$$

$$U_I = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \sin \frac{2\pi}{N} k$$

则基波分量相位变化  $\phi = \arctan(U_I / U_R)$ 。

为了测量频率的变化  $\Delta f$ , 并从  $f = f_0 + \Delta f$  求得  $\Delta f$ , 我们假设每周采样  $N$  次, 得到  $N$  个采样值, 计算出  $U_I$  和  $U_R$ , 然后求得基波分量相位变化  $\phi_1$ , 同样利用后  $N$  个采样值可求出  $\phi_2$ , 利用下式即可计算出频率的变化  $\Delta f$ 。

因为:  $\phi = 2\pi f t + \phi_0$ ,  $\frac{d\phi}{dt} = 2\pi \Delta f$ ,

$$\text{所以 } \Delta f = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{2\pi} \frac{\phi_2 - \phi_1}{N T_0} = \frac{1}{2\pi} \frac{\phi_2 - \phi_1}{N \frac{T_0}{N}} \quad (1)$$

式中:  $T_0$  为采样间隔,  $T_0 = \frac{1}{f_0}$ ,  $f_0 = 50$  Hz,  $N$  为每周采样次数。

### 2.2 采样间隔自适应调整

当用式(1)求  $\Delta f$  时, 由于实际频率未知, 只能用固定采样间隔  $\frac{T_0}{N}$  采样, 当信号频率偏离 50 Hz 时, 计算出的基波电压频率及两电压相位差将存在采样不同步误差。当频率偏离 50 Hz 时, 虽然能基本上跟踪实际频率, 但有一定误差。为了提高频率测量

精度, 本系统采用自适应调整采样间隔, 即采样间隔由  $\frac{T_0}{N}$  决定,  $T_0$  为实测频率的倒数, 于是

$$f = \frac{1}{2} \frac{\phi_2 - \phi_1}{T}$$

采用自适应调整采样间隔后, 可以解决固定采样间隔时出现的采样不同步误差, 保证频率变化时每周波均匀采样, 相当于用软件实现了锁相电路的功能。

在采用自适应调整采样间隔时, 用傅里叶算法测量频率, 在开始时要测四个周波, 其中两个周波用来进行第一次频率测量, 然后根据实测频率改变采样间隔, 另外两个周波用来测量实际的频率。

## 3 系统总体设计方案

该系统的总体设计框图如图 1 所示, 主要包括硬件和控制软件两大部分。系统工作原理为: 经过电压互感器的电压信号经数据采集卡处理后送到计算机的总线, 我们通过软件编程的方法对所得的数据进行计算、存储和显示。

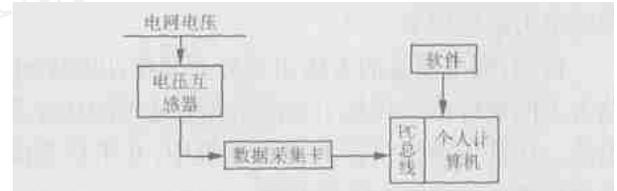


图 1 频率测量原理框图

Fig. 1 Block diagram of frequency measurement

## 4 主要硬件模块介绍

本设计采用的是 PCI-6024E 数据采集卡, 它是利用 PCI 总线技术实现的。PCI 总线传输速率高, 数据吞吐量大, 是 PC 数据采集卡设计的主流。本数据采集卡确保了实时信号不间断的采集与存储。它支持双极性的模拟信号输入, 信号输入范围为  $-10 \sim +10$  V。提供 16 路单端模拟输入通道、2 路独立的模拟输出通道、8 路数字输入输出通道, 2 个 24 位的定时计数器等多种功能<sup>[4]</sup>。在使用之前必须将 DAQ 卡的硬件进行配置, 这些控制程序用到了相应的低层 DAQ 驱动程序。数据采集卡的工作原理图如图 2 所示。

## 5 软件开发和设计<sup>[5]</sup>

在软件的设计及实现过程中, VI 的概念得以体现和应用, LabVIEW 也显示出与其它开发工具不同

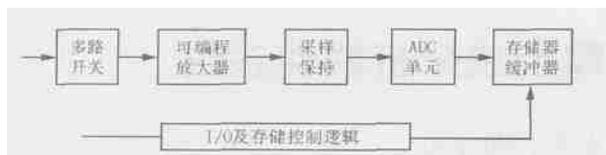


图2 数据采集卡的工作原理框图

Fig.2 Working block diagram of DAQ

的程序设计思想和高度灵活的开发效率。

软件的设计主要包括以下的几个部分。

**前/后面板:**在利用 LabVIEW 编程时,编程的面板称为虚拟仪器的后面板,当在后面板上用图标和连线写程序的时候,虚拟仪器的前面板同时在另一个面板上生成。通过前面板,使用者就可以方便地操作虚拟仪器,而不用研究这台虚拟仪器的内部程序是如何实现的。从前面板上看,操作虚拟仪器和操作传统仪器并没有太大的区别。

**数据采集:**虚拟仪器的数据来源于 PCI - 6024E 数据采集卡。

**硬件驱动:**用软件来控制硬件必须有相应的硬

件驱动程序。LabVIEW 提供了一个 Measurement & Automation 驱动程序库。

**数据分析和处理:**数据采集后,按照第2节中所述的原理对数据进行分析 and 计算,实现仪器的测量功能。

**数据存储及读取:**对分析处理后的数据进行存储和管理,以方便用户的查询和调用。

## 6 实验结果与分析

实验采用一台信号发生器产生一个正弦波交流电压信号,它的频率可调范围为 0 ~ 100 Hz,幅值可调范围为 0 ~ 10 V。实验中将这一电压信号通过端子直接送入安装在计算机上的数据采集卡。虚拟仪器面板上可以选择每周波的采样点数,实验结果证明,当每周波采样 24 点时,频率测量的精度已经可以满足要求,不需要再增加采样点数。

在虚拟仪器面板上依次调整输入信号的频率: 40 Hz、45 Hz、47 Hz、49 Hz、50 Hz、51 Hz、53 Hz、55 Hz、60 Hz,运行后,虚拟仪器面板上显示的测量频率值如表 1 所示。

表1 实验结果

Tab.1 Results of experiment

实际频率/ Hz	40	45	47	49	50	51	53	55	60
固定采样 测量值	38.081 5	45.457 3	47.520 3	48.846 9	50	51.002 1	53.215 9	55.284 1	58.013 1
自适应采样 测量值	40.005 9	44.999 1	46.998 5	49.000 9	50	51.002 1	53.999 2	55.000 6	59.928 9

由表 1 的实验结果可看出,若采用固定点采样,在  $f = 50$  Hz 时,测量频率无误差,当频率偏移 50 Hz 时,虽然能基本上跟踪实际频率,但有一定的误差,而且当频率偏离 50 Hz 较大时,误差也较大。若采用自适应调整采样间隔,得到的测量频率具有很高的精度,而且当频率偏移较大时,测量精度也很高。

## 7 结束语

虚拟仪器直接以微机为支撑,充分利用了现代计算机技术强大的数据运算、存储、调用、显示能力以及图形化的编程思想,用户可以将一些先进的数字信号处理算法应用于虚拟仪器设计,因此虚拟仪器在数据采集、数据分析和数据处理等方面具有传统仪器不可替代的优势。虚拟仪器技术在电力系统有着广泛的应用,而应用最多的则是在测量领域<sup>[6]</sup>。实践证明,采用基于虚拟仪器技术的电力系统频率测量新技术,在满足准确度的条件下,大大降低了装置的成本和开发周期,因而具有广阔的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 谢小荣,韩英铎(XIE Xiao-rong, HAN Ying-duo). 电力系统频率测量综述(An Overview on Power System Frequency Measurement [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1999, 23(3): 54-58.
- [2] 林正盛(LIN Zheng-sheng). 浅谈虚拟仪器技术的演化与发展(Virtual Instrument Technology and Evolution [J]. 微计算机信息(Micro-computer Information), 1997, 13: 66-67.
- [3] 杨乐平,李海涛,肖相生,等(YANG Le-ping, LI Hai-tao, XIAO Xiang-sheng, et al). LabVIEW 程序设计与应用(LabVIEW Program Design and Application) [M]. 北京:电子工业出版社(Beijing: Publishing House of Electronics Industry), 2001.
- [4] National Instruments Corporation, Measurement and Automation [Z]. 2000. 239-240.
- [5] National Instruments Corporation, LabVIEW User Manual [Z]. 1998. 1 - 1-1 - 3.

(下转第 57 页 continued on page 57)

术的提高,都有赖于多方面的共同努力。在继电保护技术规程的修订及工程审查中,应充分考虑技术的进步和前瞻性以及经济的合理性,如对 OPGW 的推广应用,对分相电流差动保护的推广应用,对 2 M 数字复用的推广应用等。在施工及运行维护中,要特别注意施工调试技术的完善及专业间的沟通交流。现代数字通信技术的发展,必将从很大程度上影响到纵联保护的原理、调试、运行等各个方面,其通道的运行,从配置、调试、维护、检验等各方面,也必将需要广大保护专业及通信专业人员齐心协力,才能确保纵联保护的可靠运行。

#### 参考文献:

- [1] 邢宁哲,鲍捷(XING Ning-zhe, BAO Jie). 继电保护通道的发展与安全策略(Developing and Safety of Protection

Channel) [A]. 第 28 届中国电网调度运行会议论文集(The 28th Conference of China Electric Power Control and Operation Thesis Florilegium). 2003.

- [2] 刘辉,潘永旗,屈静(LIU Hui, PAN Yong-qi, QU Jing). 浅析高频保护命令载波通道传输时间的影响(Analysis in Effects to High Frequency Protection Command Transmission Time in Carrier Wave Channel) [J]. 继电器(Relay), 2002, 30(10): 81-82.

收稿日期: 2004-03-19; 修回日期: 2004-04-28

#### 作者简介:

常风然(1967 - ),男,高级工程师,主要从事继电保护的运行、计算、管理工作; E-mail: cfr@hbpc.com.cn

高艳萍(1967 - ),女,高级讲师,主要从事继电保护及自动装置的培训工作。

### Analysis of some problems in operation of pilot channels

CHANG Feng-ran<sup>1</sup>, GAO Yan-ping<sup>2</sup>

(1. Hebei Electric Power Dispatching and Communication Centre, Shijiazhuang 050021, China;

2. Hebei Electric Power Education and Training Centre, Shijiazhuang 050031, China)

**Abstract:** Pilot protection is very important in power system, but its operation state is not optimistic, especially in channel. About carrier channel, some problem are very distinct, such as quality and using of transceiver, testing and adjusting of channel parameter. About multiplex channel, a large number of problems frequently happened in protection cooperating between channel and duplex equipment. To solve these problems, configuration, debugging, maintenance, testing, etc of protection and channel should be paid more attention, and the intercourse of speciality and perfection of constructing art should be especially considered.

**Key words:** pilot protection; channel; operation

(上接第 43 页 continued from page 43)

- [6] 艾欣,杨以涵,周孝信(AI Xin, YANG Yi-han, ZHOU Xiaoxin). 虚拟仪器技术及其在电力系统中的应用(Virtual Instrument Technology and Its Application to Power System) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2001, 25(15): 54-57.

收稿日期: 2004-04-08; 修回日期: 2004-05-04

#### 作者简介:

何红艳(1980 - ),女,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护; E-mail: 9805309@163.com

游大海(1956 - ),男,教授,主要从事电力系统继电保护,电力市场等方向的研究。

### Application of virtual instrument in frequency measurement of power system

HE Hong-yan, YOU Da-hai

(Institute of Electrical & Electronic Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** This paper introduces the conception and character of virtual instruments(VI) and the prevailing developing software LabVIEW, based on which, the virtual instrument for frequency measurement of power system is designed and implemented. This VI system is considerably different from the conventional measuring system in both the structure and functions. The practice proves that, the new technology of frequency measurement in power system based on VI technology can improve the veracity and real time character, besides, it can also reduce the cost and developing period of the equipment.

**Key words:** virtual instrument; frequency measurement; LabVIEW