

文章编号: 1005-0523(2004)05-0054-05

基于 LabVIEW 的牵引供电系统谐波负序分析仪

樊江涛, 刘静芳, 陈剑云

(华东交通大学 电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 虚拟仪器是近几年来自动测试和电子测量仪器领域提出的新概念, 其性能与传统仪器相比具有明显的优势. LabVIEW 是一个开发实验室虚拟仪器工程平台, 利用 LabVIEW 开发研制了基于虚拟仪器技术的牵引供电系统谐波负序分析装置. 本文论述了该装置的工作原理、软件硬件设计组成以及其实现方法. 在此基础上还进一步指出了虚拟仪器的网络化和数据共享.

关键词: LabVIEW; 牵引供电系统; 谐波; 负序; FFT

中图分类号: TP

文献标识码: A

0 引言

电气化铁路上运行的电力机车是牵引供电系统中的一大非线性负载, 在运行时会产生大量的高次谐波, 就谐波源类型来分, 电力机车可认为奇次谐波电流源^[1]. 而且电力机车对于电网还是不对称负荷, 在运行时还会产生负序分量, 这些谐波电流和负序分量通过牵引变电所牵引变压器的合成和变换注入电力网, 从而大大影响了电能质量. 这些高次谐波对于运行牵引电机, 将引起附加损耗, 使电动机转矩减小; 对测量仪表, 将产生虚假的谐波功率, 出现随机误差; 对于补偿电容, 将使其运行电流增大, 温升增高; 对于继电保护装置, 将影响其整定值, 引起误动; 对于周边通讯网络, 将影响其电磁效应和正常的载波通信^[2], 因此, 开发研制实用的谐波负序测量分析系统, 并对其含量进行实时监测, 对于保证电网安全运行是非常必要的.

近年来, 虚拟仪器 VI (Virtual Instrument) 的兴起给谐波负序测量与分析提供了一种新的研究途径. 与传统测试仪相比, 虚拟仪器除了在性能、用户可编制性等方面具有诸多优点外, 在实际应用以及社

会经济效益等方面也具有突出优势, 尤其是虚拟仪器还具有网络通信功能, 各虚拟仪器之间可以通过网络交换数据, 实现仪器间的资源共享. 另外, 利用网络可实现远程数据采集, 不必人工到采集现场进行操作. 所以, 采用 NI (Nation Instrument) 公司的图形化编程语言作为谐波测量分析系统的软件开发工具, 正是基于虚拟仪器的优点, 把 VI 技术用于谐波负序分析仪实验研究, 对牵引供电系统中的谐波负序进行测量和分析计算.

1 分析仪的硬件结构

分析仪的硬件结构主要由信号调理板、PCI 总线的多功能数据采集卡以及计算机组成. 我们选用 PCI 总线是因为该总线传输速率高, 数据吞吐量, 是今后数据采集板卡设计的主流^[3]. 现仪器设计采用的 PCI-2002 数据采集卡是一块性价比较好的产品, 支持软件查询方式、中断方式, 保证了实时的信号不间断采集与存储, 两种方式的传输率均可达到 200 K. PCI2002 板上装有 16 位分辨率的 A/D 转换器, 多通道时每通道采样速率可达 200 K. 32 位的 PCI 总线, 支持 PCI2.2 协议, 真正实现即插即用, 可

收稿日期: 2003-10-30

作者简介: 樊江涛(1979-)男, 江西遂川县人, 硕士研究生.

靠性高;并为用户提供了16双/32单的模拟输入通道及16路开关量输入、16路开关量输出通道^[4].同时还具有数据和地址奇偶校验功能,保证了数据采

集的完整性和准确性.采集卡附有专门的硬件驱动程序.

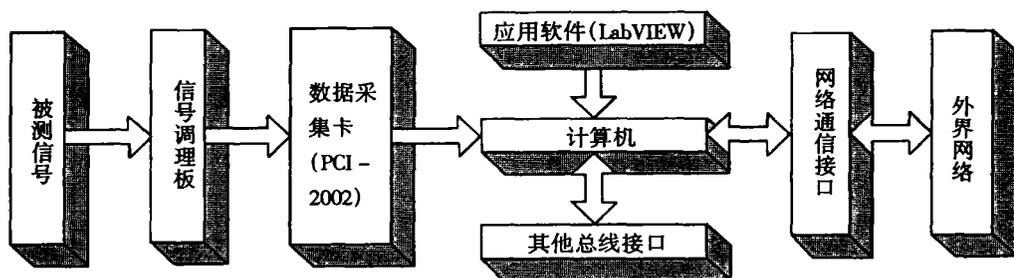


图1 谐波负序分析仪的原理框图

在图1中,从牵引变电所电压互感器和电流互感器的二次侧取得被测信号,送入信号调理板,这里我们采用文献^[5]设计的调理电路,将100V的电压和5A的电流变换为-5V~+5V的电压信号送入数据收集卡PCI2002.数据收集卡是插卡式结构,可直接插入到计算机PCI总线扩展插槽内.

2 分析仪的软件系统实现

虚拟仪器(VI)通过应用程序将计算机与硬件(主要是数据收集卡)结合在一起,用户可以通过友好的图形界面(也称虚拟前面板)进行操作,应用程序为用户构建和运用VI提供了良好的开发环境、高水平的仪器硬件接口(仪器驱动程序)、用户接口以及信号处理功能等等.总之,VI以直观的方式通过软件实现对采集信号的分析处理、储存和通讯.

2.1 软件设计

LabVIEW是一种图形化编程语言环境,为VI的开发提供了极其方便且功能强大的软件工具.利用LabVIEW编程可以将VI分解为若干个具有独立功能的基本模块,模块的引脚代表I/O接口.用户可以通过交互式手段,采用框图化设计的方法,完成VI的各个逻辑和测量分析功能设计.另外,需修改人机交互界面时也不必对整个VI程序进行调试,这给我们的设计工作带来了极大的方便.现在大多数仪器生厂商生产的数据收集卡都配有LabVIEW驱动程序,因此它具有非常强的通用性.

2.2 基本算法

数据分析包含了对输入信号进行处理所需的

算法.目前谐波分析最常用的算法是离散傅里叶变换(DFT)和快速傅里叶变换(FFT).FFT的实质是将长序列的DFT计算分解为若干个短序列的DFT计算^[6].假设分成 m 段,则FFT算法共需 $mN/2$ 次乘法运算,而DFT算法则需要进行 N^2 次乘法运算.为保证谐波分析计算的高精度, N 值一般较大,这时FFT算法可以大大减少乘法运算量而大量节省计算时间.FFT算法有多种,本文采用最为常见的库利一图基分析法.

我们对电压和电流两个时间信号进行同步采样,并且一起作频谱分析.在一个周期内均匀采样 N 点,即可得到两个离散时间序列 $\{u_k\}$ 和 $\{i_k\}$,由它们可以构成一个复序列 $\{f_k\}$,令 $f_k = u_k + j i_k$, $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$.根据下式 $F_n = \sum_{k=0}^{N-1} f_k W^{kn}$, $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$,对 $\{f_k\}$ 进行FFT变换可得其频谱 $\{F_n\}$.令这两个离散时间序列的频谱分别为 $\{U_n\}$ 和 $\{I_n\}$,则有 $F_n = U_n + j I_n$ 且 $F_{N-n} = U_{N-n} + j I_{N-n}$,又由公式 $W^{N-n} = W^{-n} = W^n$ 及 $W^{N-n} = W^{-n} = W^n$ 可得出 $F_{N-n} = U_{N-n} - j I_{N-n} = U_n - j I_n$,于是推导出

$$\begin{cases} U_n = \frac{1}{2} (F_n + F_{N-n}^*) \\ I_n = \frac{1}{2j} (F_n - F_{N-n}^*) \end{cases}$$

上式即是各次谐波电压、电流的计算式,可得到各次谐波电压、电流的有效值 U_n 、 I_n 及它们的相角 φ_{un} 、 φ_{in} ,这样我们就可以进行谐波和负序分析,具体如下.

2.2.1 谐波分析

根据下式即可得出电压、电流的有效值

$$U = \sqrt{\sum_{n=1}^N U_n^2} \text{ 及 } I = \sqrt{\sum_{n=1}^N I_n^2}$$

畸变波形偏离正弦波形的程度以其正弦波形畸变率来表示,比如电压正弦波形畸变率为

$$D_U = \frac{100 \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} (\%)$$

为了抑制或补偿某高次谐波,我们需给出该次谐波的数值,常以谐波含量来表示.例如电压畸变波形的第 n 次谐波含量为该次谐波电压的有效值 U_n 与基波电压有效值 U_1 的百分比,即

$$D_{U_n} = \frac{100 U_n}{U_1} (\%)$$

电流的正弦波形畸变率及其高次谐波含量的计算方法与电压相同.

2.2.2 负序分析

我们考虑牵引变电所的变压器为常用的 Y/△-11 接线方式.根据 FFT 变换所得的变压器低压侧三相谐波电流分别为 \dot{I}_{an} 、 \dot{I}_{bn} 、 \dot{I}_{cn} ,则利用对称分量法可由下式求得 A 相 n 次谐波电流的负序分量

$$\dot{I}_{an(2)} = \frac{1}{3} (\dot{I}_{an} + a^2 \dot{I}_{bn} + a \dot{I}_{cn}), \text{ 其中 } a = e^{j120^\circ}$$

同理也可以得到其正序分量 $\dot{I}_{an(1)}$,这里不再赘述.

利用下式可以计算变压器高压侧注入电力系统的 n 次谐波电流负序分量

$$\dot{I}_{an(2)} = \frac{1}{\sqrt{3}k} (\dot{I}_{an} + e^{-j60^\circ} \dot{I}_{bn})$$

它在电网中产生负序电压,衡量负序水平的指标是三相电压不平衡度,定义为负序电压 U_2 与正序电压 U_1 的百分比.即

$$\epsilon_u = \frac{U_2}{U_1} \times 100 (\%)$$

2.3 主要功能模块

概括地说,分析仪包括三个主要模块:数据采集、数据分析和数据存贮模块.其功能框图如图 2 所示.

2.3.1 数据采集模块

数据采集模块主要负责读取采集卡采集来的数据(这些数据在采集卡中通过 A/D 转换转换为计算机能够处理的数字信号),并完成数据采集的控制,包括通道选择控制、采样频率选择等.

本分析仪共采集 12 路模拟信号,分别是牵引变压器三相进线、两馈线以及回流线上的电压和电流.

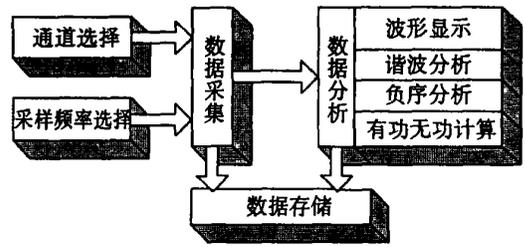


图 2 分析仪功能结构框图

2.3.2 数据分析模块

数据分析模块主要完成对采集来的数据进行一系列的分析,主要包括 FFT 变换、负序分量计算、各次谐波电压电流的有效值以及有功、无功的计算等.同时在人机界面中显示数据采集模块采来的信号波形及其频谱分析结果,为变电所技术人员提供实时准确的线路数据.如果线路发生短路故障,此时采集的信号值将超过正常工作最大值(可通过软件编程设置),系统将发出报警信号.

2.3.3 数据存储模块

数据存贮模块将采集的原始数据和分析处理后的数据保存到用户指定的文件中,作为供电系统线路运行情况的历史记录,以便日后查询或生成报表.

3 应主要考虑的几个问题

3.1 采样频率

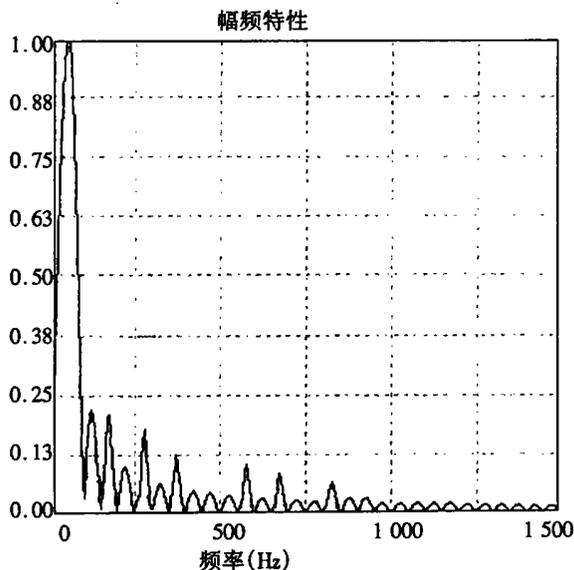
欲得到精确的测量分析结果,采样频率的选择非常重要.如果采样频率选择得过高,即采样间隔小,则每个周期里采样点数过多,造成数据存储量过大和延长计算时间;而采样频率过低,FFT 运算在频域将会出现混淆现象^[7],造成频谱失真,使之不能如实反映原始信号.因此,对连续信号的采样频率需大于奈奎斯特频率,而实际应用时,采样频率常取为 4~10 倍的奈奎斯特频率.在本仪器中我们对每个周波进行 128 点的快速交流采样.当然,用户也可以根据自己所需采集的最高次谐波及其分析精度来自行定义采样频率.

3.2 周期误差

周期误差是由电网信号周期波动而引起的,它导致了不同周期内总的采样时间不等,而使二者存在误差.如果一周内总的采样时间跟随电网信号作周期变化,但只要保持两者变化准确相同,则也可以有效地消除此误差,方法就是采用同步采样技

术.目前同步采样可以用硬件、软件以及定时方式这三种方法来实现.硬件实现主要是采用锁相环倍频电路;软件实现可以省去硬件同步环节从而简化装置结构;用定时方式实现则不需要任何附加同步电路,但其误差较前两种方法要大.

本分析系统采用的数据采集卡是采用外部硬件来实现同步采样,并使用与采样信号完全同步的脉冲信号启动 A/D 转换,同步工作频率可达到 33 MHz,最高传输速率为 132 MB/S,有效地保证了采样精度.



3.3 频谱泄漏

在信号的实际测量和分析中,采样点数 N 是有限的,并视 N 点以外的点采样值为 0.将时域信号各点与对应点的窗函数相乘,通过傅立叶变换相应于频域的卷积.对于单一频率信号乘以窗函数的情况,尤其是不恰当的采样使得信号正弦波形的相位在始端和终端不连续,而 FFT 又是由信号周期延拓并取其主值区间来计算,这时便出现了频谱泄漏^[7].

为抑制频谱泄漏,必须适当地加大窗口宽度.可以采用改变窗函数的形式,使得窗函数在边界处取值近于零,此时原来信号波形采样时即使在边界两端不连续,经过与窗函数相乘也可使其值很小并接近连续,从而减少频谱的泄漏.在实际中,我们采

用汉宁窗函数,基本达到上述要求.下图是我们模拟某一工频电压的频谱分析特性,从图上可以看出各次谐波完好,满足我们分析要求.

4 结束语

虚拟仪器就是以计算机(通常选用工控机)外加数据采集等功能模块通过专门的应用程序来完成某种仪器的功能.正是建立在虚拟仪器的基础上,我们开发了牵引供电系统谐波负序分析仪,它不仅具有一般谐波分析仪器的功能,而且充分运用了计算机强大的功能和软件编程的灵活性,采用了先进的图形化编程语言 LabVIEW 进行设计,可操作性 and 可维护性相当好,并充分利用了计算机的存储与外设连接的能力,测量分析结果可打印输出或通过网络实现数据共享.本仪器可在整个牵引供电系统中使用,能昼夜不断地对牵引供电系统中各线路的电流和电压进行实时地采集、显示和存储,并进行各类分析和计算,对线路发生故障能及时发出警报.尤其在牵引变电所中应用会有着重要的意义,它让技术人员及时掌握谐波负序产生的时间、地点、原因及规律,并在生产运行中采取适当的措施;为网损的计算及年底线路运行总结提供很好的历史依据;同时为变电所人员的研究工作提供了极大的方便.

参考文献:

- [1]许克明,徐云,刘付平.电力系统高次谐波[M].重庆:重庆大学出版社,1991.
- [2]姜建国,朴晓光,赵长和,黄真,赵冬梅.电力系统的谐波检测与分析方法[J].大庆石油学院学报,2002,26(1):45-47.
- [3]杨乐平,吕英军.虚拟数字示波器的设计与实现[J].自动化与仪器仪表.2000,7:28-30.
- [4]肖宛昂,陈剑云.基于 DSP 的跟踪频率变化的交流采样技术[J].单片机及嵌入式系统应用.2003,3.
- [5]吴竟昌,孙树勤,等.电力系统谐波[M].北京:水利电力出版社,1988.
- [6]程佩青.数字信号处理[M].北京:清华大学出版社,1990.

Harmonic and Negative Sequence Analytical Instrument Based on LABVIEW in Traction Supply System

FAN Jiang-tao, LIU Jing-fang, CHEN Jian-yun

(School of Electrical and Electronic Eng., East China Jiaotong Uni., Nanchang 330013, China)

Abstract: VI is a new concept put forward in automatic and electronic measurement in recent years, and compared with traditional instrument its performance has more distinct advantages. Based on the development platform of LABVIEW, we develop a device to analyze harmonic and negative sequence in traction supply system. In the paper, the working principle, SW & HW construction and its realization method are dissertated. the networking and data sharing of VI is also further pointed out.

Key words: LABVIEW; traction supply system; harmonic; negative sequence; FFT