

文章编号:1000-582X(2007)03-0026-05

基于虚拟仪器的电容性设备介损在线监测系统

唐 炬¹,刘明军²,张晓星¹,杜 林¹,彭 莉¹

(1. 重庆大学 电气工程学院高电压与电工新技术教育部重点实验室,重庆 400030;
2. 重庆市电力公司永川供电局,重庆永川 402160)

摘 要:介绍了一种基于虚拟仪器的容性电气设备介质损耗正切值虚拟测量系统,利用 National Instruments 公司的软件平台 LabVIEW 和 ADLINK 公司硬件平台实现电信号的实时采集、分析、处理和存储,经过实验室模拟测试和变电站实际测试表明,该系统对电容性设备介质损耗的测量精度高,实测数据稳定,实测的介损值相误差小于 5%,能满足实际在线监测的要求。

关键词:虚拟仪器;LabVIEW 软件;电容性设备;介质损耗

中图分类号:TM83

文献标识码:A

电容型设备(如电力电容器、电容式高压套管等)在电力系统设备构成中占相当大的比重,这些设备的安全可靠是实现整个电力系统运行的基础,而电气设备(尤其是高压设备)损坏事故中很大一部分是绝缘损坏引起的. 通过对其介电特性的监测可以发现尚处于早期发展阶段的缺陷. 绝缘材料的介质损失角正切($\tan\delta$)是反映高压电气设备绝缘性能的一项重要指标,通过测量 $\tan\delta$ 可以发现电力设备绝缘系统的整体性缺陷或较大的集中性局部缺陷^[1-7]. 因此,及时、有效地发现绝缘存在缺陷对于保障电网安全具有重要意义.

笔者开发了基于虚拟仪器的容性电气设备介质损耗因数在线监测系统,该系统是在 NI 公司推出的图形化虚拟仪器开发平台 LabVIEW 上开发出来的. LabVIEW 软件可方便迅速地建立高水平应用程序,通过与测量硬件密切结合,迅速开发出有关数据采集和控制,数据分析及数据显示的应用系统^[8-9].

1 测量介质损耗的谐波分析法原理

基于谐波分析法的数字采样波形分析系统是一种波形采集、存储和分析的智能化系统. 谐波分析法的测量原理是:首先由高灵敏度的微电流互感器检测设备末端引出的泄漏电流信号,而从电压互感器二次侧抽取电压信号,经整形放大、低通滤波、程控放大后的模

拟信号,再经过采样保持同步采样由 A/D 转换为离散数字信号,然后利用计算机对 2 个离散数字信号波形进行快速傅里叶变换(FFT),得到 2 个信号的基波傅里叶系数,进一步求出 2 个基波的相位差,从而得到设备的介质损耗因数,即介质损耗角正切 $\tan\delta$ ^[10]. 其原理图如图 1 所示.

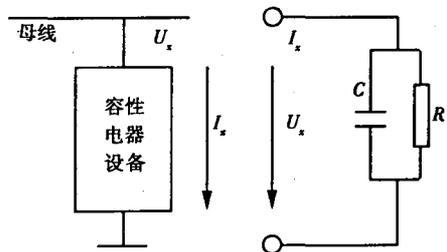


图 1 容性电气设备接线示意图和原理简图

设 U_x 为被测容性设备运行电压, I_x 为其上流过的电流. 满足狄里赫利条件(即给定的周期性函数在有限的区间内,只有有限个第一类间断点和有限个极大值、极小值)的电压 U_x 、电流 I_x , 可按傅里叶级数分解为直流分量和各次谐波分量之和:

$$u_x = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \cdot \sin(k\omega t + \alpha_k), \quad (1)$$

$$i_x = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \cdot \sin(k\omega t + \beta_k), \quad (2)$$

* 收稿日期:2006-11-08

基金项目:重庆市自然科学基金重点资助项目(2006BA3018)

作者简介:唐炬(1960-),男,重庆大学教授,博士,博士生导师,主要从事电气设备绝缘在线监测及故障诊断研究,

电话(Tel.):023-65112739;E-mail:cqtangju@vip.sina.com.

式中: U_0, I_0 分别为电压、电流的直流分量; U_{k_m}, I_{k_m} 分别为电压、电流的各次谐波幅值; α_k, β_k 分别为电压、电流的各次谐波相角。

求出电压、电流基波相角 α_1, β_1 后, 对于容性试品, 电流相角超前于电压 90° , 可得:

$$\text{tg}\delta = \text{tg}[90^\circ - (\beta_1 - \alpha_1)]. \quad (3)$$

2 系统设计

整个系统包括硬件和软件两部分. 其组成如图2所示. 被测的电压信号和电流信号分别从电压传感器(PT)和电容性设备末屏接地线上获取. 采用电压电流传感器将PT和设备上的电压、电流变换成低压和小电流信号, 经电缆将信号送往前置处理板(信号分两路输入). 前置处理单元完成对信号的保护、保持、放大等处理; 信号转换成数字量由12位高精度模数转换单元在计算机软件控制下实现的; 最后由计算机采用相应的程序和数字处理技术, 对数字化的电压、电流信号进行分析、处理, 完成结果的存储和显示.

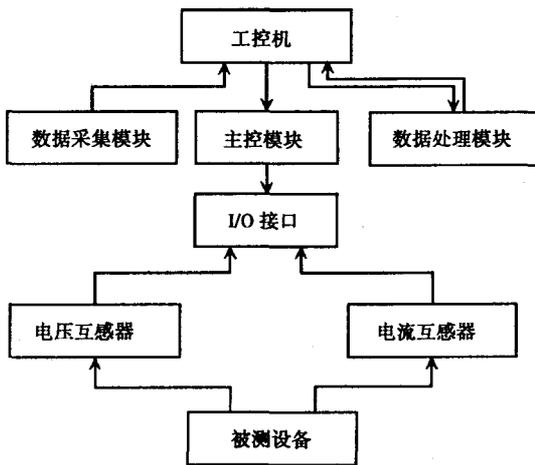


图2 系统原理框图

2.1 系统的硬件设计

硬件电路包括4个部分: 用于提取信号的采样部分, 用于对信号进行初始处理的前置电路部分和数据采集及处理部分。

2.1.1 前置电路设计

电压电流经过传感器由电缆引至前置电路, 为了避免电源波动的影响和增大驱动负载的能力. 在保护电路之后要对信号隔离, 在这里分别用一个电压跟随器隔离开测量系统和被测量系统, 然后对信号放大, 放大后直接送入计算机进行采集处理。

对于绝缘监测的电流信号, 不同的设备电流幅值大小不同, 而对同一设备来说, 在正常运行和出现异常时, 其电流幅值大小也不同. 当设备绝缘良好时, 流过

设备末屏的电流较小; 设备运行过程中, 因受潮、绝缘老化等原因可能使流过设备末屏的电流增大. 基于此, 笔者设计了可调型放大电路, 放大电路倍率按0.1, 1, 10和100来进行调节. 倍率的选择通过程序控制。

2.1.2 数据采集卡选择

系统采用ADLINK公司的数据采集卡, 其中PCI9812数据采集卡具有4个单端同步输入通道, 每通道最高20MHz采样频率、12位模拟量输入分辨率、4个A/D转换器, 且每通道提供一个转换器A/D数据流量, 板上带有32K字的FIFO, 其性能完全满足系统采集、处理信号的要求。

2.1.3 抗干扰实现

针对严重电磁干扰的情况, 采用常规抗干扰措施避免强电磁场环境干扰: 1) 外露信号传输线采用双层屏蔽电缆, 并将屏蔽线接地; 2) 前置电路布线时加宽印刷线条, 增加地线宽度, 避免平行走线, 降低两线的电容耦合, 备用输入端子接入固定电平, 尽量缩短电源线, 接地线; 3) 前置电路整体处于外壳接地的全屏蔽金属盒中; 4) 用小纹波系数直流电源, 在它和地之间加滤波电容; 5) 一点接地, 避免产生环路电流引起地电位抬升。

2.2 系统的软件设计

软件是虚拟仪器的核心. 笔者采用NI公司的LabVIEW图形化编程语言编程, 实现对数据的采集及存储, 并完成数据分析计算, 波形显示及存储等功能. 系统的流程图如图3所示, 虚拟仪器前面板如图4所示. 主界面包括: 参数输入及结果显示区域, 设定采样率等, 显示电压电流幅值相位, 电容值等结果; 波形显

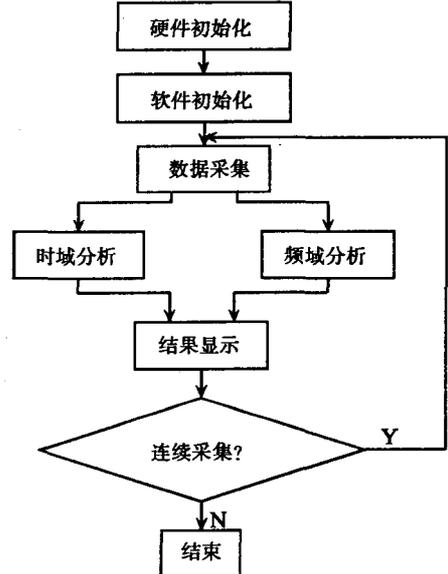


图3 系统总体流程图

示区域,测试信号的时域和频域分析波形图.主界面上还有采集和退出程序等控件.

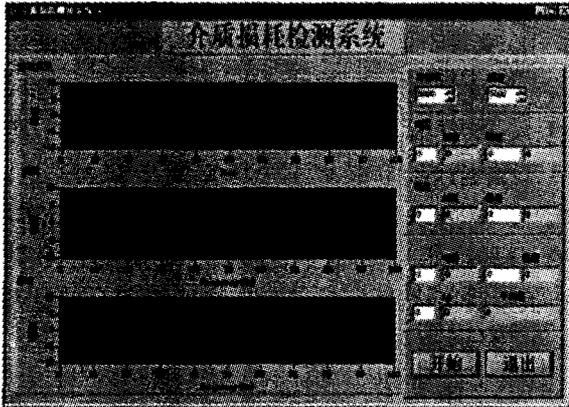


图4 检测系统主界面

2.2.1 数据采集子模块

连续采集的功能通过使用双缓冲(double buffer)的方式实现.双缓冲是循环缓冲和用户缓冲2个缓冲.采集的数据先写入循环缓冲,当半满时,前半部分写入到用户缓冲中,采集的数据继续向循环缓冲的后半部分写入.当全满时,后半部分数据再写入用户缓冲中.此时,采集的数据会继续写入循环缓冲的前半部分,如此反复,每半满一次,循环缓冲的前或后半部分就会被写到用户缓冲中去,从而达到连续高速采集的功能.

2.2.2 连续存储子模块

为了实现对所采集的波形数据进行离线处理,必须让计算机对所采波形数据自动存储.这里采用追加方式来实现数据文件保存到硬盘里.

2.2.3 数据处理子模块

当采样完成后,读采样数据,采样数据存储到指定的数组中,这时可以对其进行分析和处理,绘出波形,并从中求取所需参数.根据谐波分析法的原理编制了对容性电气设备介损损耗 $\text{tg}\delta$ 进行计算的程序.程序中主要用到 Real FFT 子模块, Tabgent 函数以及 For Loop 循环等.数据处理流程图如图5所示.

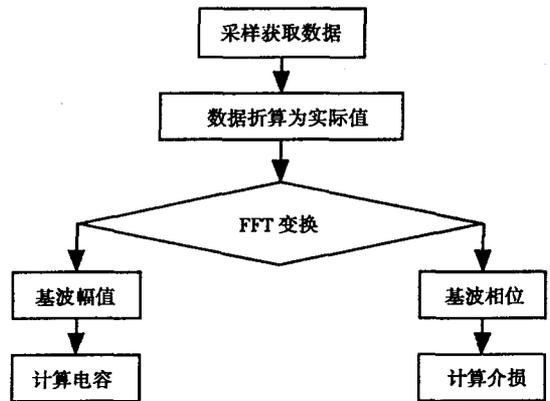


图5 数据处理子模块流程图

部分程序如图6所示.

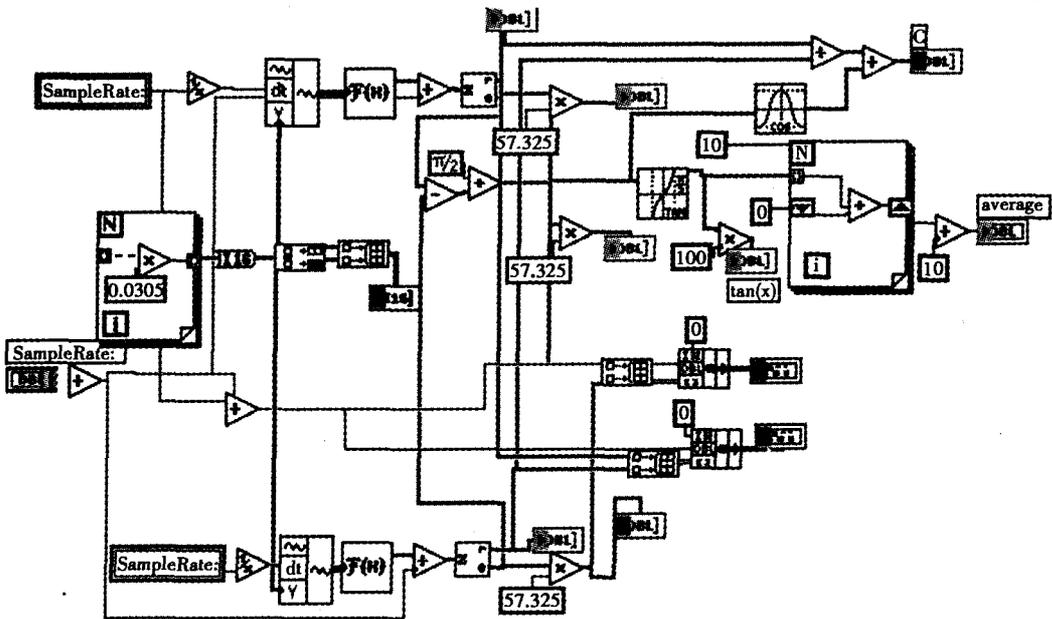


图6 数据处理程序

3 测量误差分析

3.1 系统频率的影响

由于系统频率 f 容许一定的偏差 (50 ± 0.2) Hz,

当采样以固定频率对周波采样,当系统频率发生变化时,就会出现数据多采或漏采的情况,给数据分析带来误差.误差有时可远远超过绝大部分试品的介损损耗

值,这是绝对不容许的。

为了避免这种现象发生,可以设计一个频率跟踪电路来保持采样的准确度.频率跟踪电路是以电压的频率为基准输入,因为系统频率变化缓慢,可以认为在相邻几个周波范围内系统频率是相同的,使输出频率始终是输入频率的 2^n 倍(2^n 采样点数),由这个频率信号对采样进行控制,确保在每个周波内准确采样 2^n 个点。

3.2 相间干扰的影响

电力系统属于三相系统,相间存在和耦合.因此,在线监测A、B、C三相高压电容试品时,会有相间干扰,使得介质损耗角A相偏大,B相基本不变,C相偏小.相间干扰的严重性取决于试品主电流大小,如果主电流远大于相间干扰的影响.对于电容型设备来说,从未屏得到的电流信号一般都在毫安级,而相间干扰电流只有微安级,因此可以忽略其影响.而且,在故障诊断时采用相对比较法,可认为在同样条件下运行电压对同相别设备的影响一致,相间和相邻设备的影响固定,通过差分 and 相减后,相对比较剔除了同类设备中存在的同类型的干扰,也可以避免相间干扰的影响。

3.3 系统谐波的影响

电力系统内谐波含量丰富,且随时变化,谐波频率、谐波波形畸变率等因素对绝缘监测影响极大.电压谐波给介质损耗因数测量带来了较大的误差.因此,可以通过低通滤波滤去高次谐波,将电力系统常有的3次谐波含量限制在很小范围内.当采用谐波分析法时,介质损耗因数不受谐波含量的影响。

4 实验结果分析

为了验证笔者设计的系统的正确性,在实验条件下对系统进行了模拟仿真研究.在实验中,电源取自220V交流电源,进行单相实验.电容性试品泄漏经电流传感器输出接到测量电路输入,加在试品上电压串联一个电阻后,经电压传感器输出接到测量电路的另一个输入端.由于篇幅所限仅取3组数据示于表1中,实验室模拟测试接线图如图7所示。

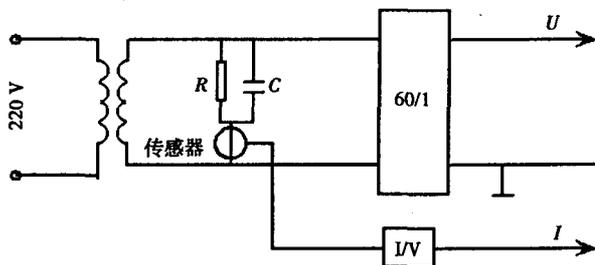


图7 测量模拟实验电路图

表1 测量介损值 %

次数	介损值		
	电桥法	测量值	相对误差
1	0.420 9	0.411 1	2.31
2	0.420 9	0.436 5	3.72
3	0.420 9	0.413 3	1.81
4	0.420 9	0.406 4	3.45
5	0.420 9	0.440 5	4.66

由表1可以得到,实测的介损值与采用西林电桥法的测量值非常接近,多次测量误差均小于5%.表明测量的稳定性较高,能够获得较准确的介损值。

将该系统安装在重庆某110kV变电站1号主变压器110kV侧高压套管处进行监测,同时用QS-1型西林电桥采用正接法进行测量,测量结果如表2所示。

表2 2种仪器测试介损值对比

测试仪器	A相	B相	C相
测试系统	0.340	0.346	0.349
西林电桥	0.344	0.344	0.351

由表2可以看出,笔者设计的监测系统与西林电桥测试结果基本一致,表明该监测系统测试性能精确可靠,能够真实有效地监测电容性设备的介质损耗。

5 结论

通过对虚拟仪器技术的研究,并结合介质损耗正切值测量的特点,利用ADLINK的硬件设备和NI公司的软件平台,构建了基于虚拟仪器的容性电气设备介质损耗因数在线监测系统,该系统实现了快速、准确测量 $\tan\delta$.实验室测量和变电站实际测试表明该系统测量稳定,实测的介损值相误差小于5%,能满足对电容性设备绝缘性能监测的实际要求。

参考文献:

- [1] 张仁豫. 高电压试验技术[M]. 北京:清华大学出版社,1982.
- [2] 赵沛,张源斌. 介质损耗的数字化测量方法[J]. 高压电器,2004,40(1):45-47.
- [3] 马为民,吴维韩. 便携式数字介质损耗测量仪的研究[J]. 高电压技术,1996,22(1):40-44.
- [4] 赵秀山,谈克雄,朱德恒,等. 介质损耗角的数字化测量[J]. 清华大学学报:自然科学版,1995,36(9):51-56.
- [5] WANG PEI, RAGHUVVEER M R, MCDERMID W, et al. A digital technique for the on-line measurement of dissipation factor and capacitance[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation,2001,8(2):228-232.

- [6] 梁英,律方成,李成裕,等. 两种高精度 FFT 算法在介损测量中的应用[J]. 华北电力大学学报,2004,20(3):12-15.
- [7] 刘力,孙结中. 中间变压器对电容式电压互感器介损测量的影响[J]. 电网技术,2001,25(9):56-60.
- [8] 刘君华,贾惠芹,丁晖,等. 虚拟仪器图形化编程语言 LabVIEW 教程[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001.
- [9] 杨乐平. LabVIEW 程序设计与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- [10] 王忠毅. 介损与氧化锌避雷器电流在线监测的谐波法原理及系统研究[D]. 重庆:重庆大学电气工程学院,1999.

Detecting System of the Dielectric Loss in Capacitive Equipment Based on Virtual Instruments

TANG Ju¹, LIU Ming-jun², ZHANG Xiao-xing¹, DU Lin¹, PENG Li¹

(1. Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology, Ministry of Education, Electrical Engineering College of Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Yongchuan Power Supply Bureau, Chongqing Electric Power Corporation, Yongchuan 402160, China)

Abstract: A digital detecting system of the dielectric loss in the capacitive equipment is introduced based on virtual instruments. This system can real-time collect, analyze, process and storage electrical signals with National Instruments' program LabVIEW and ADLINK's DAQ board. Through the simulation test in lab and the real test in electric substation, it is shown that this system has high accuracy on testing the dielectric loss in the capacitive equipment, the real test data is stable and the relative error of real dielectric loss is less than 5%. It is to say that this system can meet the requirement of the real on-line monitoring.

Key words: virtual instruments; labVIEW software; capacitive equipment; dielectric loss

(编辑 李胜春)

(上接第 25 页)

Fiber Current Sensor Based on Fabry-Perot

LIU Jing-cheng, YAO Xiao-fang, CHEN Xiao-qiang, LIU Jun

(Key laboratory of Optoelectronic Technology and Systems of the Education Ministry of China, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Fiber measurement technology has many advantages, such as no electromagnetic interference, good insulation and small volume. A kind of fiber current sensor is given, which bases material mechanics and electromagnetic induction, and also makes a cantilever beam and F-P together for measurement. Phase demodulation way is adopted in this paper. The sensor principle and measurement principle of F-P are analyzed. This paper builds up the mathematical model of the F-P gap and gave a current measurement equation. At last some experiments are done to validate it. Advantages of this sensor are small volume, high sensitivity and compact structure.

Key words: optical fiber transducers; current measurement; electromagnetism induction; F-P interferometer

(编辑 侯 湘)