

基于虚拟仪器的电力变压器局部放电在线监测系统

冯 义, 左自强, 方 琼, 徐 阳, 邱昌容

(西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

On-line Detecting System for Partial Discharge in Power Transformer Based on Virtual Instrument

FENG Yi, ZUO Zi-qiang, FANG Qiong, XU Yang, QIU Chang-rong

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

摘要: 介绍了一种虚拟仪器技术在电力变压器局部放电在线监测系统中的应用。分析了其硬件组成及各部分的功能, 并利用虚拟仪器软件的控制功能及强大的数据处理功能, 实现了对外围硬件电路和数据采集方式的有效控制, 并对采集到的信号施行了数字滤波和极性鉴别等抗干扰措施, 保证了测量的准确性。最后对现场经过抗干扰处理后的数据进行了统计分析, 作出了能够反映局部放电特征的二、三维谱图和反映放电水平发展的趋势图。

关键词: 虚拟仪器; 在线监测; 局部放电; 变压器

中图分类号: TM835 **文献标识码:** A

Abstract: The application of virtual instrument technology, which is used in the on-line partial discharge detecting system for power transformer is introduced in this article. The hardware structure and its function are analyzed. With the control function and the powerful digital processing function, the periphery hardware circuit and the data acquisition mode can be controlled efficiently, and the methods such as digital filter and polarity identification have been applied to signals, which can ensure the measurement accuracy. The 3D and 2D graph representing the characters of partial discharge and the tendency graph representing the increasing of the level of partial discharge have also been made by the statistics analyzing method.

Key words: virtual instrument; on-line detecting; partial discharge; power transformer

1 引言

电力变压器故障的原因之一是介质击穿, 而介质击穿通常是由局部放电(PD)引起的。PD水平和PD水平增长速率能够反映变压器内部绝缘性能正在发生的变化, 在线监测电力变压器内部的局部放电, 及时观察其发展情况, 有助于对电力变压器的绝缘状况进行判断, 有效地预报设备故障。

2 信号特点及测量方法的确定

2.1 信号特点及测量要求

局部放电是一种复杂的物理过程, 有电、声、光、热等效应, 还会产生各种生成物^[1]。从电性方面分析, 产生放电时, 在放电处有电荷交换、有电磁波辐射、有能量损耗。最引人注目的是反映到试品施加电压的两端, 有微弱的脉冲电压出现, 它的放电时间很短($10^{-9} \sim 10^{-7}$ s)。在经过线路传输之后, 它的波形特性还会发生很大的变化。图 1(a), (b)是在实验室条件下, 用 TDS3054B 观察到的油浸纸放电模型在高压下实际放电的时域波形以及对它做的频谱分析。

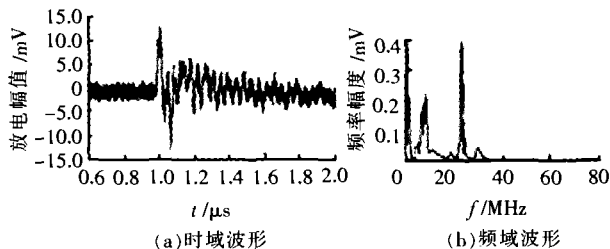


图 1 实际放电信号的时域和频域特性

另一方面, 在测量环境中往往会存在各种干扰, 使得被测信号变得更加难以识别。这些干扰按其时域波形特性通常可分为窄带干扰、随机脉冲型干扰和白噪声 3 类^[2]。

窄带干扰包括: ①电力系统载波通讯和高频保护信号引起的干扰; ②无线电干扰。这些干扰的波形通常是高频正弦波, 有固定的频率或频带宽度。

随机脉冲型干扰信号包括: ①供电线路或高压端的电晕放电; ②电网中的开关、可控硅整流设备的开断或闭合引起的脉冲干扰; ③电网中其它设备放电引起的干扰。这些干扰具有与局部放电信号相似的时域和频域特性。

白噪声包括各种随机噪声。理论上, 白噪声干扰的功率谱为恒定常数, 分布在各个频段; 实际应用当中, 若其功率谱在较宽频带上为连续平缓的, 亦可作

为白噪声处理。

变压器局部放电在线监测系统首先要有效地滤除各种干扰,可靠地提取出 PD 信号,同时还要能做出反映放电特征的各种放电谱图、放电发展的趋势图,并能够对历史数据进行重现,以便为变压器绝缘状态诊断提供依据。传统的主要依靠硬件来进行抗干扰的局放检测仪,抗干扰手段单一,抗干扰效果差,难以满足上述要求。

2.2 测量方法的确立

该系统采用将计算机技术和测量技术相结合,通过软件实现各种功能的虚拟仪器技术。常规的虚拟仪器是在计算机上嵌入数据采集系统,然后用软件在屏幕上生成仪器面板,用软件来实现信号的分析处理以及结果显示等功能^[3]。该虚拟仪器系统利用数据采集卡、数字 I/O 卡和图形化编程语言 (LabVIEW) 并结合计算机,实现对外围信号调理电路的控制、数据采集、数据处理和结果显示等功能,特别是大大提高了抗干扰性能。例如,对窄带干扰,在软件上采用多阻带滤波的方法,将不同中心频率的窄带干扰滤除^[4];对脉冲型干扰,采用双传感器定向耦合极性鉴别的方法,如图 2 所示的测量线路,来自电网的干扰信号经过两个传感器后极性相同;而来自变压器内部的放电信号极性相反。根据这一特性,利用软件识别两路信号的极性,极性相同则为外部干扰,相异则为内部放电;白噪在时域中表现为无规律的随机脉动,在频域中则表现为在整个频带上均匀分布。而放电脉冲能量比较集中在某一频段,采用带宽限定的放大器对放电信号能量集中的频段进行放大,以提高信噪比,同时通过软件设置抑制噪声阈值,以抑制噪声干扰。

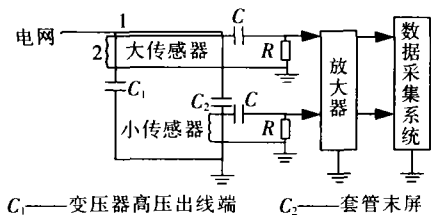


图2 利用极性鉴别抗干扰的测量线路示意图

3 硬件组成及各部分的功能

电力变压器局部放电在线监测系统结构见图3。硬件电路主要实现信号的有效获取并实时采集,使整个系统稳定、可靠地工作。

3.1 传感器及程控放大器

为实时、可靠、有效地检测变压器内发生的局部放电,变压器三相高压绕组均安装一大一小两个罗哥夫斯基线圈,为增加灵敏度,在线圈中加入铁氧体磁心,这种线圈结构的传感器也叫做磁心式电流传感器,其结构和频率响应见图4。大的安装在高压套管出线的法兰上边,小的安装在高压套管的末屏接

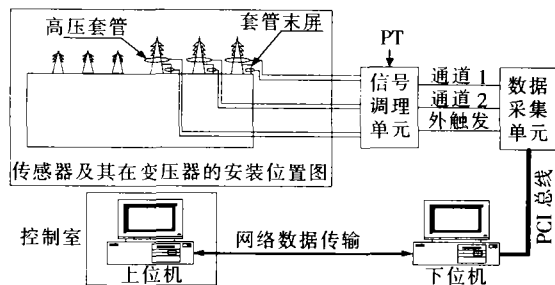
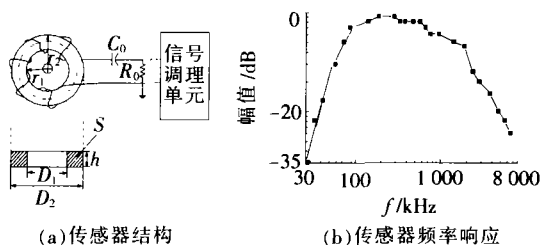


图3 电力变压器局部放电在线监测系统结构图



(a) 传感器结构 (b) 传感器频率响应

图4 磁心式电流传感器结构和频率响应

地线上。安装一对传感器的目的是为后续极性鉴别提供信号。

从传感器直接耦合的信号比较弱小,需要经过程控放大器进行放大后才送到采集卡进行数据采集,程控放大器频率范围:40 kHz~3 MHz,在这一频段放电信号能量比较集中,具有较高的信噪比,同时也可以测到较好的放电脉冲波形。程控放大器包括了放大、衰减和滤波的功能。信号调理、采集及其控制框图见图5。

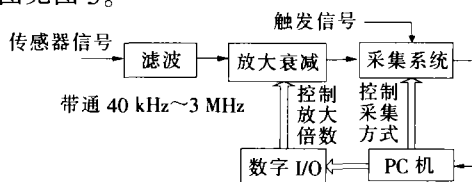


图5 信号调理、采集及其控制框图

由传感器传输来的信号首先进入频宽为40 kHz~3 MHz的带通滤波器,保证了与传感器频带的一致性。之后,进入可编程选择放大倍数为0.1,1,10,100的放大器。此外,放大器的电源部分需要与外界电源隔离,并经过了滤波处理,以防止外界电源带来的干扰影响放大器性能。程控放大器保证了整个系统在线性动态范围内适应不同幅值的信号,有利于信号的后续采集与干扰抑制。图6也是在实验室条件下,用TDS3054B观察到的油浸纸放电模型在高压下实际放电经过大小传感器和程控放大器(放大10倍)后的时域波形以及对它们做的频谱分析。

从图中可以看出,所设计的传感器和程控放大电路具有较高的信噪比,有利于放电脉冲的软件识别。图6(b)中,在2~3 MHz间的频率峰值是由于波形振荡引起的,对波形主峰的极性和大小没有影响。

3.2 多路开关、自检和触发信号单元

由于同时要对变压器的3个相序进行监测,需要用多路开关对测量的相序进行切换。该电路共有

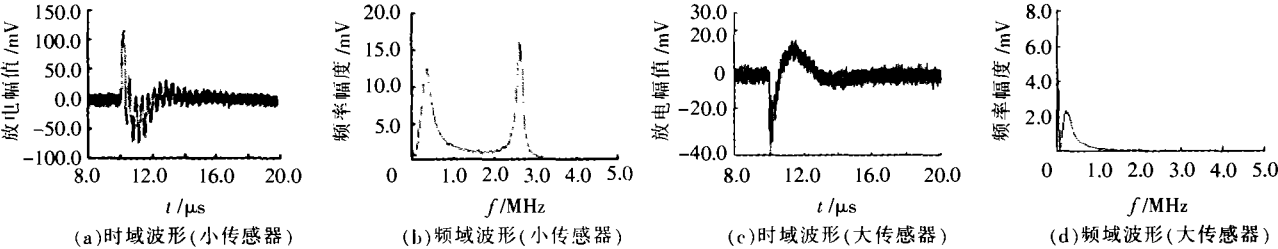


图 6 经过程控放大 10 倍后的实际放电时域和频域波形图

6 路输入,两路输出,控制电平由数字 I/O 卡提供。

在放电信号的采集过程中,不仅需要知道放电信号的大小,还需要测得发生放电所在的相位。放电信号的相位对于识别放电类型是必需的。从电压互感器(PT)提取该电压相位,经过零比较器,将工频电压变换为占空比为 50%,幅值为 5 V 的方波信号作为触发信号,便可以确定放电所在的相位,这个信号亦可作为自检信号。

3.3 数据采集卡和数字 I/O 卡

数据采集速率的选择要符合奈奎斯特采样定律,采集系统最小的采样率必须是被测对象最大频率的两倍,才不至于出现频率混叠。要正确识别局部放电信号,确定脉冲的极性和最大放电量,要求能够将信号波形比较完整地采集下来,该系统选择 NI5102 采集卡插入工控机的 PCI 插槽进行数据采集,该采集卡的主要参数:①两条 8 位的模拟输入通道;②最高 20 MS/s 的时域单次采样速率;③15 MHz 的模拟输入带宽;④水平、斜面和滞后可软件控制的模拟触发通道;⑤663000 的采样即时存储。数字 I/O 置于工控机的 PCI 插槽,共有 24 个 I/O 端口,用来控制放大器、多路开关、选频和电源的开关等。

3.4 上下位机与工业机柜

系统采用上下位机的结构,由上位机向下位机发送控制命令并接收下位机传送上来的数据进行处理分析,这样,操作人员就可以远离条件恶劣的现场进行局部放电的在线监测。

为适应不同场合的需要,工业机柜内部具有温度、湿度控制模块,使机柜内部保持在一定的温度、湿度范围,保证仪器工作在正常状态。

4 软件及功能

仪器的功能由 LabVIEW,SQL 和 VB 共同编制的软件来实现。主要功能有:控制程控放大器、多路开关和电源,对采集到的信号进行各种抗干扰处理,作出反映放电特征的各种谱图以及放电水平发展的趋势图^[5]。系统采用上下位机结构的流程,见图 7。

4.1 控制功能

对于不同的电力变压器局部放电在线监测系统,选用多大的放大倍数要根据现场实际来确定,而且由于同时要对变压器的 3 个相序进行监测,因此

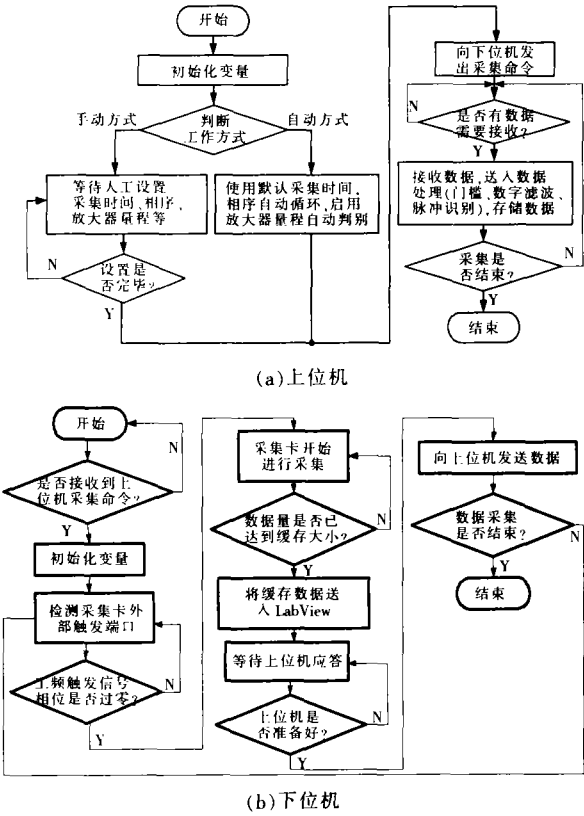


图 7 虚拟仪器程序流程图

要求能够进行可编程控制,能够控制放大倍数以及控制多路开关的开断。利用 LabVIEW 编写控制软件程序,由上位机写入控制命令并传送到下位机,然后控制数字 I/O 卡各端口的输出电平高低就能够很方便地实现这些功能。写入控制命令面板见图 8。

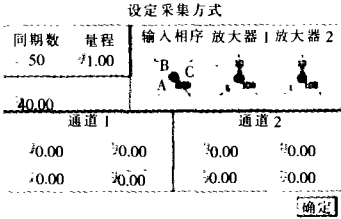


图 8 写入控制命令面板图

4.2 数字滤波

电力系统载波的频率往往具有多个频段,采用 LabVIEW 提供的 Chebyshev Filter 中的带阻功能,可以将这些载波干扰基本去除。

在现场测得的信号及其频谱如图 9 所示。可以

看出,共有4个频段的电力系统载波,按能量大小依次分布在200~210 kHz,310~320 kHz,380~390 kHz,340~350 kHz频段。Chebyshev Filter带阻滤波中心频率依次取205,305,385,345 kHz,频带宽度取10 kHz,便可将这些载波滤除,滤波效果如图10。

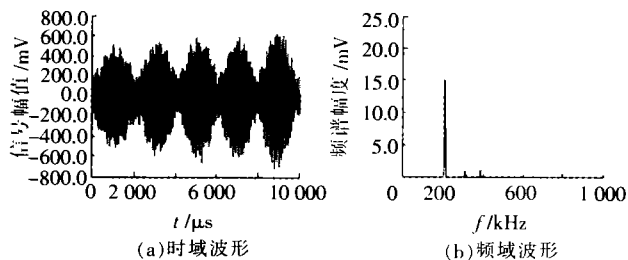


图9 现场在线测得的混叠有电力系统载波的信号时域和频域波形

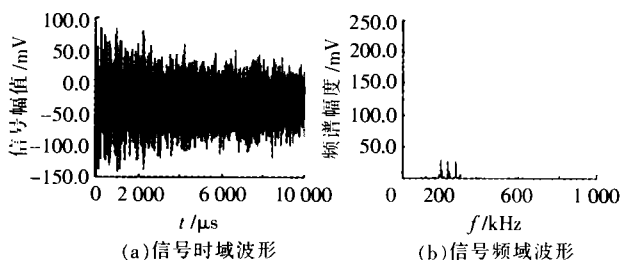


图10 经过多阻带Chebyshev Filter滤波后的信号时域和频域波形

4.3 极性鉴别

利用软件进行极性鉴别,关键是要能从滤波后的还混有噪声的信号中识别出放电脉冲的极性。实际放电经过一定长度的线路传输,由传感器耦合并经放大带宽为40 kHz~3 MHz程控放大器放大后,其波头将被拉宽到几百个纳秒,见图11。

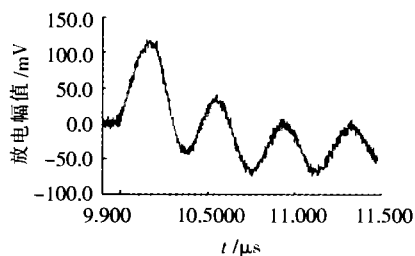


图11 从程控放大器出来后的实际放电波形图

放电脉冲的极性由第一个波头的极性来决定。对 α 响应,第一个波头足够大,前沿增长趋势显著(相对于噪声的增长趋势),能够较容易地判断出它的极性,而对于 β 响应,第一个波头比较小,前沿增长趋势不明显,不容易判断出它的极性。笔者注意到,不管是 α 响应还是 β 响应,它们第一个波头的后沿增长趋势都很明显。根据后沿增长趋势的明显程度、增长方向(朝正方向还是负方向)以及后沿起始点幅值与噪声阈值大小相比,可以判断出放电脉冲的极性。

4.4 现场测量的数据分析和结果

该监测系统已经应用到福建某电厂的1台110 kV的电力变压器上,系统运行稳定可靠,图12是在现场实测到的结果。

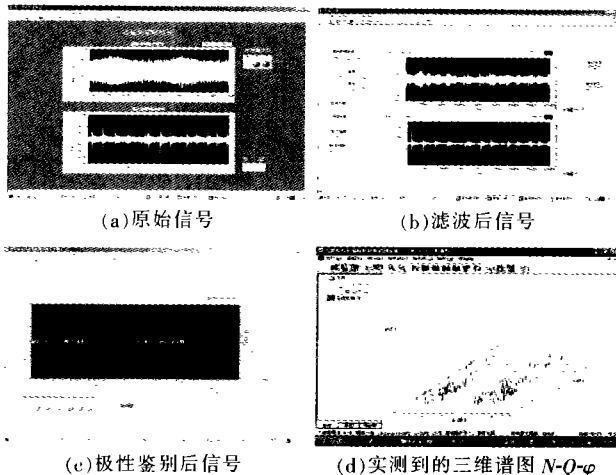


图12 实测信号与统计分析结果

5 结论

在电力变压器局部放电在线监测系统中应用虚拟仪器技术,其主要优点如下:

- (1)用户可以在不改变硬件的基础上,通过软件应用各种数字信号处理手段实行有效的抗干扰措施,使测得的数据可靠。
- (2)功能强大。可以根据需要设计不同的虚拟仪器面板,满足各种性能的测试。
- (3)灵活性强。主要通过软件的建立开发扩展仪器的性能,因此大大节省了开发的时间。
- (4)系统运行可靠稳定。
- (5)自动化程度高,安全方便。

参考文献:

- [1] 邱昌容,曹晓琰. 电气绝缘测试技术(第3版)[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
- [2] R Bartnikas. Partial Discharges: Their Mechanism, Detection and Measurement[J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 2002, 9(5): 763-808.
- [3] 刘君华. 现代检测技术与测试系统设计[M]. 西安:西安交通大学出版社,1999.
- [4] 郑南宁. 数字信号处理 [M]. 西安:西安交通大学出版社,1991.
- [5] 瞿军,周屹. Visual Basic 程序设计培训教程 [M]. 北京:清华大学出版社,2002.

作者简介:冯义(1979-),男,湖南人,硕士研究生,主要从事电力设备在线监测方面的研究。