

# 高压电缆附件局部放电在线监测系统设计

杨琳<sup>1</sup>, 田晓菲<sup>2</sup>, 吴德永<sup>1</sup>, 刘帅卓<sup>3</sup>, 王颖<sup>3</sup>, 吴小林<sup>3</sup>

(1. 国网四川省电力公司科学研究院, 四川 成都 610072;

2. 国网四川物资公司, 四川 成都 610000; 3. 西南石油大学, 四川 成都 610500)

**摘要:** 随着电力电缆在电力系统中越来越广泛的应用, 其供电的可靠性也越来越受有关部门和用户的关注。而电缆附件是连接电缆与电缆、电缆与其他设备非常重要的环节。局部放电是导致电缆附件发生故障的主要原因之一, 而高压电缆附件局部放电与内部绝缘状况有密切关系。设计了高压电缆附件局部放电在线监测系统。此系统的硬件部分主要包括信号发生器、高频电流传感器和 PCI8735 数据采集卡等模块, 软件部分主要基于虚拟仪器技术使用 LabVIEW 实现数据的重组、去噪等功能。经过实验室测试分析, 证明该系统运行稳定, 采集数据快速准确, 对于高压电缆附件局部放电的监测有一定的现场应用价值, 对于促进能源的合理利用, 资源的节约具有重要的意义。

**关键词:** 电缆附件; 局部放电; 高频电流传感器; PCI8735 数据采集卡; LabVIEW

**Abstract:** With the wide application of power cable in power system, the reliability of its power supply attracts more and more attention from the relevant departments and users. Cable accessories are very important aspects connecting cables with cables and cables with other facilities. Partial discharge is one of the main reasons leading to the failure of cable accessories, and partial discharge in HV cable accessories is in close relationship with internal insulation. An on-line monitoring system for partial discharge of HV cable accessories is designed. The hardware of this system mainly includes signal generator, high frequency current sensor and PCI8735 data acquisition card and other modules, and its software uses LabVIEW to achieve data reorganization, denoising and other functions mainly based on the virtual instrument technology. After lab tests and analysis, it proves that the proposed system is stable and can collect data quickly and accurately. It has a certain application value to partial discharge monitoring of HV cable accessories and is of great significance to the promotion of rational energy use and resource conservation.

**Key words:** cable accessories; partial discharge; high frequency current sensor; PCI8735 data acquisition card; LabVIEW

中图分类号: TM855 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)06-18-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.06.005

## 0 引言

随着城市供电电缆化的快速推进, 电力电缆附件的使用量也在不断增加。但是电力电缆附件在选用、安装过程中存在着众多问题。随着时间的推移和环境的改变, 这些问题日渐显露, 最终引发许多电缆事故。据统计有 80% 以上的电力电缆事故是由电力电缆附件的质量问题所引起的。电力电缆附件的质量问题主要指的是电缆附件内部的局部绝缘缺陷, 当电缆附件内部长期存在局部绝缘缺陷时会在电缆附件绝缘内引发树枝状老化, 同时伴随以局部放电的形态表现出来, 局部放电的发展最终导致电缆附件绝缘的击穿。目前, 局部放电检测是电缆附件故障检测方面应用最为广泛、有效的方法。因此,

对电力电缆附件进行定期局部放电检测就显得特别重要。

因此设计了一种基于高频电磁耦合法的电缆附件局部放电在线监测系统, 可对运行中的电缆附件因各种绝缘故障所产生的局放信号进行实时在线监测分析, 从而为工作人员制定故障修复方案提供科学的依据。本系统可靠性高、操作简单、实用性强, 值得推广。

## 1 系统介绍

### 1.1 系统框架设计

所设计的局部放电在线监测系统是基于高频电流法, 配合虚拟仪器技术实现课题的研究。本系统以高速数据采集、数据处理、分析、存储、显示等主要

技术完成局部放电监测。最后根据数据处理结果来判断放电类型。该监测系统框图如图 1 所示。

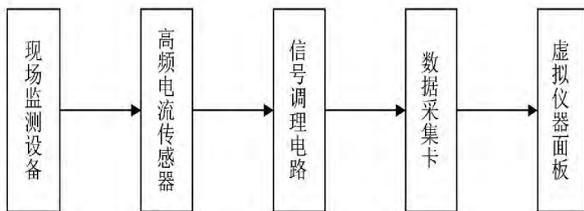


图 1 高压电缆附件局部放电系统框图

在实验时,信号发生器充当监测设备,利用信号发生器输出高频方波信号(模拟高脉冲信号),经过高频电流传感器将信号传送给数据采集卡,最后通过软件显示监测结果。根据放电的幅值、相位以及放电次数对局部放电趋势和局部放电强度进行分析并给出放电监测结果。

### 1.2 高频电流传感器

罗氏线圈(Rogowski coil)的全称是罗哥夫斯基线圈,它是一种不含铁心的均匀缠绕在非磁性材料上的环形线圈,可以直接套在导体上对导体进行测试,有硬性和柔性之分,其输出信号是电流对时间的积分。当线圈套在导体上时,经过导体的交流会在其周围产生一个变换的磁场,然后就能从线圈中感应出与电流成正比的电压信号。罗氏线圈实际上是 1:N 的电流互感器,原边为单匝线圈,是环形铁氧体材料;其副边线圈是 N 匝环形绕组,其窗口面积较大而截面较小,其结构电路如图 2 所示。

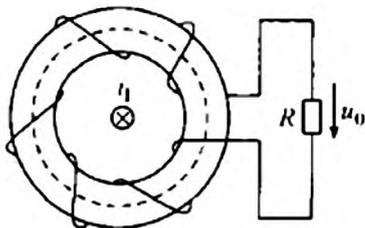


图 2 罗氏线圈结构与等效电路图

### 1.3 数据采集卡 PCI8735

数据采集卡,即实现数据采集(data acquisition, DAQ)功能的计算机扩展卡,可以通过 USB、PXI、PCI、PCI Express、火线(1394)、PCMCIA、ISA、Compact Flash 等总线接入个人计算机。PCI8735 是基于 PCI 总线的数据采集卡,能够直接插在 IBM-PC/AT 或与之兼容的计算机内的任一卡槽中,构成实验室、产品质量检测中心的等各种领域数据采集、波形分析以及处理系统,还可以构成工业生产过

程中监控系统。

该卡主要的功能有 AD 模拟量输入功能、DI 数字量输入功能、DO 数字量输出功能等。AD 模拟输入功能配置的是 AD7321 芯片,该芯片配有一个高速的串行接口,是一款双通道、12 位带符号位的逐次逼近型 ADC。AD7321 内部原理图如图 3 所示。

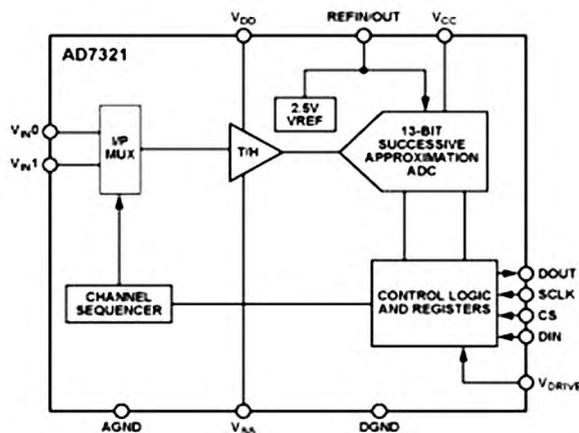


图 3 AD7321 原理图

采用数据采集卡 PCI8735 的作用是采集从传感器中输出的模拟信号,并同时采集到的模拟信号转换成数字信号,再根据计算机端软件将其进行分析和处理,得到所需的数据。它具有性能稳定、便捷等优点。

### 1.4 系统软件设计

电测仪表发展至今,大体上经历了指针式仪表、数字式仪表和微机化仪表三代,随着计算机技术的发展,使得现代仪器技术与计算机技术相有机地结合起来,从而产生功能强大、多变的虚拟仪器。虚拟仪器是由计算机资源(CPU、存储器、显示器等构成)和通用仪器硬件(A/D、D/A 变换器、数字输入输出、定时和信号处理器等)与用于数据分析、过程通讯及用户图形界面的软件有效地结合起来而组成的仪器操作平台。系统软件结构图如图 4 所示。

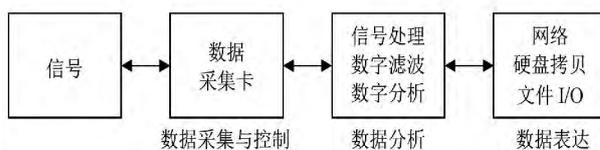


图 4 系统软件结构图

#### 1.4.1 上位机软件设计

LabVIEW(laboratory virtual instrument engineering workbench)是一种用图表编程代替用文本行编程方式的编程软件。其采用编程方式是用数据流和图表来编程,程序的执行顺序是有图表之间的节点

流向来决定的。利用 LabVIEW 开发的上位机端软件的流程图如图 5 所示。

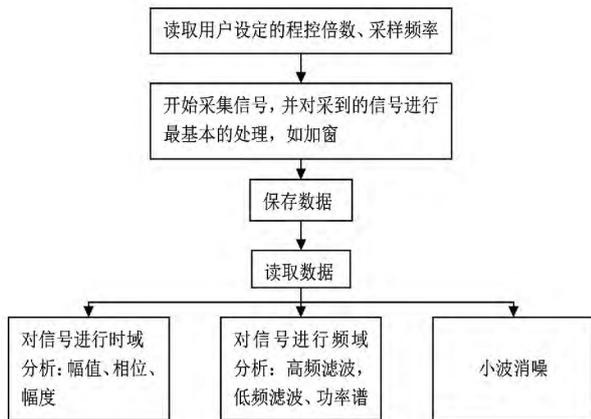


图 5 系统软件流程图

在 LabVIEW 中调用串口时包括参数设置模块、写模块、读模块、数据储存模块和数据显示模块五大部分。串口通讯编程流程图如图 6 所示。

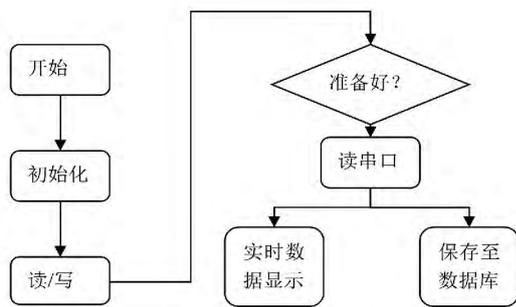


图 6 串口通讯编程流程图

### 1.4.2 软件消噪设计

局部放电监测中的干扰主要是随传感器和局部放电信号一起被输入监测系统的,其按时域信号特征分类主要有 3 种,分别是白噪声、连续性窄带性周期干扰和脉冲干扰。白噪声主要来源于线圈发热噪声,配电线路以及测量设备等耦合进入的各种噪声;窄带周期性干扰包括系统高次谐波、高频保护、载波通信以及无线电通信等;脉冲干扰主要分周期性脉冲干扰和随机脉冲干扰。滤波器是一种频限装置,对于要求内的频带给予小幅度的衰减,给予要求外的频带大幅度的衰减,从而使信号的有用信息更加明显。数字滤波器是滤波器的一种,相对于模拟滤波器说,数字滤波器具有精度高、灵活性大、可靠性高、易于集成等优点。数字滤波的程序框图如图 7 所示。

对白噪声局部放电信号进行多尺度的分析可知,局部放电信号的小波变换模总是在某一尺度或

相邻几个尺度上比噪声大得多,且其位置与相邻尺度基本对应,而噪声在每个尺度上都有,且随着尺度的增加模值呈减小的趋势。根据局部放电信号和噪声在小波变换上表现出的差别,可以去掉噪声对应的小波变换模,保留局部放电信号的小波变换模。仅用保留的各尺度的小波变换模和最大尺度的平滑系数可以很接近地重构原信号,达到抑制噪声、提高信噪比的目的。

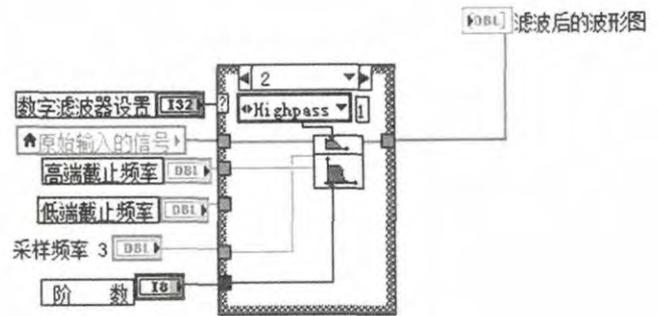


图 7 数字滤波程序图

## 2 实验分析

利用本系统在实验室里对 10 kV 电缆终端的典型缺陷进行了局部放电检测研究分析。图 8 是根据实际经验制作的电缆附件主绝缘割伤典型缺陷,图 9 是 11 kV 电压下高频电流传感器测得的局放原始信号,图 10、11 分别为滤波后的信号和信号的频谱,图 12 是提取的统计特征参数,图 13 是本套系统软件的处理结果。



图 8 主绝缘割伤(纵向切割)

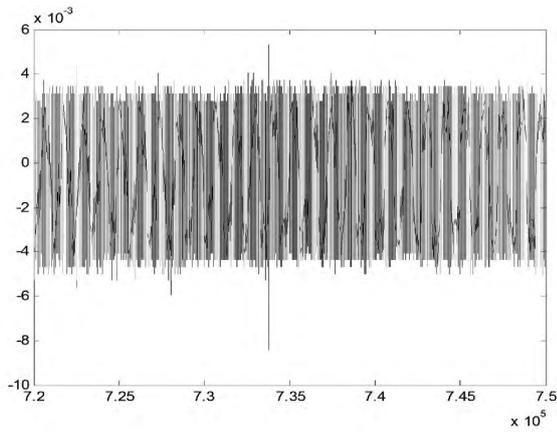


图9 局部放电原始信号

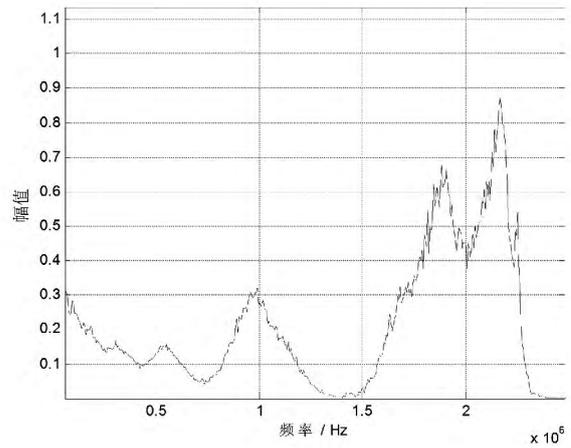


图11 信号频谱

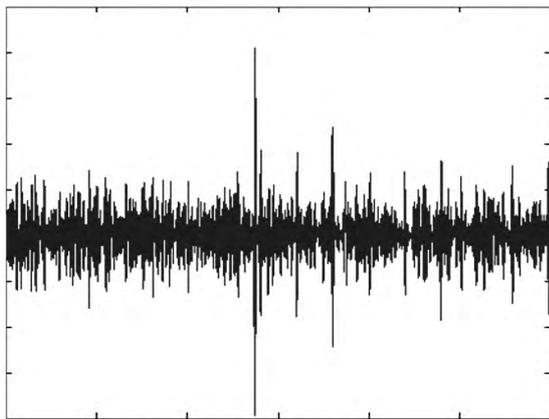


图10 滤波后信号

201	3	3.0510	2.9975	0.4847	0.3301	-0.0109	2.0913
202	3	3.0288	3.0184	0.4038	0.3818	0.0171	0.9902
203	3	3.0163	2.9877	0.3851	0.2853	-0.0463	1.3583
204	3	3.1151	2.8821	0.6691	0.0182	0.0465	4.3409
205	3	2.9808	3.3399	0.2136	1.4256	-0.0204	0.4723
206	3	3.0804	2.9824	0.5221	0.2762	0.0538	2.8340
207	3	3.0745	2.9010	0.5320	0.0681	-0.0277	0.9451
208	3	3.0151	2.8863	0.3912	0.0162	0.3899	0.6953
209	3	2.9981	2.9138	0.2566	0.0891	-0.0208	1.5803
210	3	2.9732	2.8837	0.2766	0.0084	-0.2208	2.0733

图12 特征参数

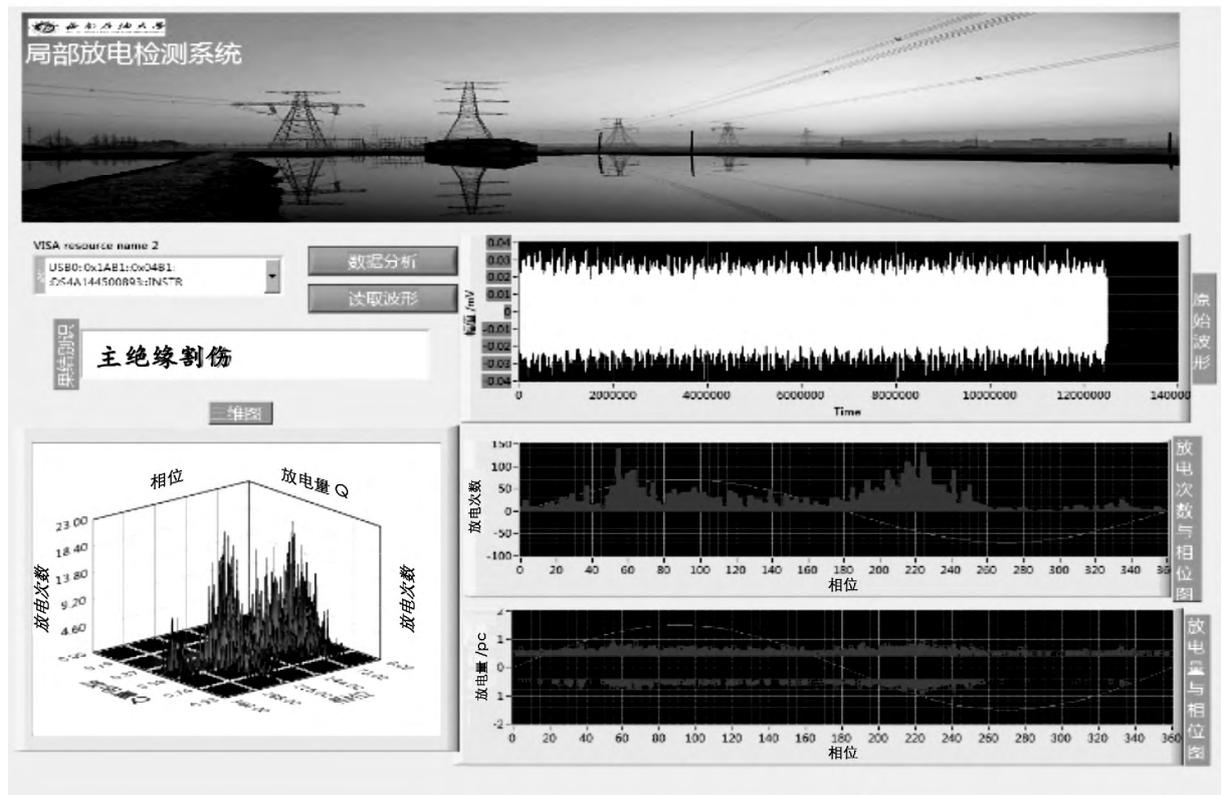


图13 系统软件处理结果

### 3 结 论

高压电缆附件作为电力电缆中运行设备,它的安全程度直接影响电力电缆的运行,从而影响到整个电力系统的运行。在阅读大量国内外的文献以及局部放电监测的有关资料后,设计了高压电缆附件局部放电在线监测系统,得到以下结论:

1) 设计了1套电缆附件局部放电在线监测系统,可实现对运行中的电缆附件因各种绝缘故障所产生的局部放电信号进行实时在线监测分析;

2) 采用小波去噪方法可去除局部放电信号中的窄带干扰信号、白噪声干扰信号和脉冲型干扰信号等干扰信号,并实现局部放电信号的时频综合分析;

3) 采用高频电流传感器作为局部放电信号检测原件可提高局部放电信号的检测灵敏度,并实现对高频局部放电信号的实时采集。

#### 参考文献

[1] 孙建锋,葛睿,郝力,等. 2010年国家电网安全运行情况[J]. 中国电力, 2011, 44(5): 1-4.

[2] DL/T 596-1996, 电力设备预防性试验规程[S].

[3] 王昌长,李福祺,高胜友. 电力设备的在线监测与故障诊断[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

[4] 刘兵. 基于行波电力电缆故障单端在线测距研究

[5] 孙建涛,文习山,胡京,等. 高压XLPE电缆绝缘多参数在线监测[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(7): 7-11.

[6] 刘杨,陈亚哲,李祥松,等. 基于层次分析法和熵值法的产品广义质量综合评估方法[J]. 中国工程机械学报, 2009, 7(4): 494-498.

[7] 刘毅超,吕建华,闵建平. 基于灰色理论的矿井电缆运行状态评估模型[J]. 信息技术, 2013(9): 163-166.

[8] 夏向阳,张琦,李明德,等. 证据理论与模糊理论集成的XLPE电缆绝缘状态评估研究[J]. 电力系统与控制, 2014, 42(20): 14-17.

[9] 李安贵,张志宏,孟艳,等. 模糊数学及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.

[10] 褚晓杰,杨太华. 城市地下电缆设施安全风险的模糊综合分析[J]. 能源与环境, 2013(6): 21-24.

[11] 周栾爱,唐文左,崔晓华,等. 电力电缆运行安全非

[D]. 武汉: 武汉大学硕士学位论文, 2002.

[5] 杨建国. 小波分析及其工程应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

[6] 张国华,张文娟,薛鹏祥,等. 小波分析与应用基础[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006.

[7] 刘贵忠,邱双亮. 小波分析及其工程应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1992.

[8] 黄子俊,陈允平. 基于小波变换模极大值的输电线路单端故障定位[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(2): 10-14.

[9] 赵宇,刘青,高授利,等. 高压XLPE电缆线路局部放电测试系统应用研究[J]. 电力设备, 2008, 9(9): 45-49.

[10] 葛景滂,邱昌容,谢恒堃. 局部放电测量[M]. 北京: 机械工业出版社, 1984.

[11] 陈庆国,龚细秀,李福祺. 变压器油中局部放电超高频检测的试验研究[J]. 高电压技术, 2002, 28(12): 23-25.

[12] 孙晓龙,李宝树,赵书涛. 虚拟仪器技术及其在电力系统中的应用[J]. 电力情报, 2001, 5(2): 5-9.

[13] 刘君华,贾慧芹. 虚拟仪器图形化编程语言[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.

[14] 李志谭,辛彦红. 基于LabVIEW的测试软件的研制[J]. 机械工程与自动化, 2006(1): 110-112.

[15] 陈锡辉,张银鸿. LabVIEW 20 程序设计从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.

[16] 丁玉剑. 基于LabVIEW的局部放电检测系统的研究

(收稿日期: 2015-08-04)

(上接第8页)

线性模糊综合评判模型[J]. 山东大学学报(工学版), 2013, 43(12): 83-86.

[12] 张琦,夏向阳,杨志峰,等. 基于模糊理论的XLPE电缆绝缘状态评估研究[J]. 绝缘材料, 2014, 47(2): 84-87.

[13] 兰继斌,徐扬,霍良安,等. 模糊层次分析法权重研究[J]. 系统工程理论与实践, 2006(9): 107-112.

[14] Thomas L. Saaty. The Analytic Hierarchy Process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.

[15] 葛少云,闫大威,董智. 基于模糊综合评判的城市电网电缆改造[J]. 现代电力, 2005, 22(6): 37-40.

#### 作者简介:

梁敏(1990), 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统的稳定与控制;

李兴源(1945), 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统稳定与控制、高压直流输电、分布式发电。

(收稿日期: 2015-09-10)