

绝缘子泄漏电流和PM2.5同步监测系统设计

为研究雾霾对输电线路外绝缘的影响,设计了一种基于ARM的绝缘子泄漏电流监测系统,该系统可监测环境温度、温度、雨量和绝缘子表面的泄漏电流,并结合通信方式实现该系统与PM2.5在线监测装置的数据交换,最后通过3G网络将数据传送给监测中心,实现了绝缘子污秽外绝缘参数与环境参量及PM2.5同步监测,为研究雾霾与输电线路外绝缘关系提供了基础研究数据。

贾伯岩 孙翠英/国网河北省电力公司电力科学研究院
方春华 周 毅/三峡大学电气与新能源学院

0 引言

绝缘子染污是大范围的区域性问题,一旦发生污闪事故,则波及面大,持续时间长,是威胁电力系统安全输电的最严重问题之一^[1-3],特别是近几年我国雾霾天气频发,严重破坏了空气质量,据2013年冬数据统计,全国70多个PM2.5重点监测城市中半数超过严重污染指标,当户外绝缘子长期在雾霾环境下,严重影响输电线路的安全^[4-7]。文献[1]提出雾霾中含有的各种颗粒物会使绝缘子表面积污量增加并引起绝缘子表面湿沉降;文献[4-10]在实验室模拟雾霾环境,研究雾霾对交流闪络电压、放电路径及放电特性的影响。文献[11-12]在户外研究了雾霾天气下绝缘子表面自然污秽的粒径分布情况及不同空气质量指数下的动车支柱绝缘子表面的积污情况。

可以看出,针对雾霾对绝缘子绝缘特性的影响主要集中在进行实验室模拟研究,或单一的户外积污规律研究。现阶段对绝缘子表面泄漏电流与PM2.5变化

关系的相关研究较少,缺少泄漏电流与PM2.5在线实时监测的软硬件平台,开展PM2.5与泄漏电流综合在线监测具有现实意义。

1 系统整体设计

整个系统由PM2.5测量主机、线路监测分机和服务器三部分组成,如图1所示。

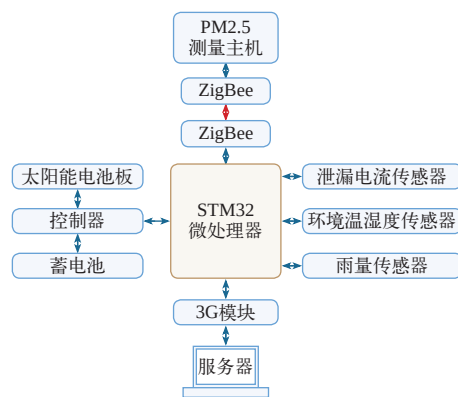


图1 硬件系统原理图

PM2.5测量主机需要在恒温的环境下工作,安装在变电站,每小时测量一个数据。线路监测分机安装在附近的输电线路路上,实时采集绝缘子泄漏电流的幅值、基波、三次谐波、环境温度、湿度及降雨量等数据。PM2.5测量主机和线路监测分机通过ZigBee实现数据传输,PM2.5测量主机将数据定时传给线路监测分机,监测分机所有数据通过3G网络传输给安装在供电局内的服务器。

2 数据采集硬件方案

2.1 线路监测分机

线路监测分机安装在输电线路杆塔上,主要由太阳能电池板、控制器、蓄



贾伯岩/高级工程师

关键词/Keywords

泄漏电流·
绝缘子·
雾霾·
监测系统·

河北省电力研究院科技项目(KJ2014-042)。

电池、泄漏电流传感器、温湿度传感器、A-D转换器、STM32微处理器、ZigBee模块及3G模块组成。整个分机采用意法半导体Cortex-M3内核CPU设计,72 MHz主频,支持宽电压供电,支持多种低功耗模式,支持FFT等数字信号处理运算;接口采用电涌防护器件与美国ADI公司磁隔离芯片结合的方式设计,实现输入、输出的防护与隔离传输。A-D不同的采样率采集泄漏电流和传感器信号,传感器信号属于低频信号以10 Hz的速度采样;绝缘子表面泄漏电流的频率范围集中在1 kHz以内,一般要求采样频率 f_s 与信号的最高频率 f_c 满足奈奎斯特采样定理,即 $f_s \geq 2f_c$,绝缘子的泄漏电流中除工频分量外,主要存在3次、5次及7次谐波,尤其是3次谐波最为明显^[2,13],因此10 kS/s的采样率可以达到要求,本文的采集系统可以每通道10 kS/s的速率同时对8路信号进行采集。

2.2 泄漏电流传感器

泄漏电流传感器是直接将电流信号转换为电压信号的重要部件,其准确程度将直接影响整个采集系统的测量准确度。输电线路绝缘子泄漏电流正常情况下在几十微安至几十毫安,幅值变化范围大、信号微弱,因此要求泄漏电流传感器具有较高的灵敏度,且现在有电磁噪声的干扰,对传感器的抗干扰能力提出了很高的要求。目前,用于测量绝缘子泄漏电流的传感器主要有无感电阻分流器及罗氏线圈。考虑到无感电阻分流器可根据信号的大小定制,且在测量小信号、抗扰度方面具有较大的优势,本装置中采用无感电阻作为电流传感器^[14]。

2.3 PM2.5监测仪

PM2.5监测仪由采样头、PM2.5切割器、样品动态加热系统、采样泵和仪器主机组成。切割器安装在室外,使用抽气泵将气体抽入室内,气体颗粒物将通过切割器传入到室内设备里,设备自动进行浓度测量及显示。由于PM2.5监测仪功率高达几十瓦,主机无法在户外长期运行,因此PM2.5监测仪安装在监测线路的变电站中,PM2.5监测仪与线路监测分机的距离在1 km以内,ZigBee传输

能较好地适用当前环境,ZigBee协议栈提供了丰富的程序接口(API)函数,通过调用API函数可实现ZigBee标准中的各种功能,PM2.5监测仪通过ZigBee模块将数据周期性传给线路监测分机,并确认发送状态,如果PM2.5监测仪没收到来自监测分机的信号,PM2.5监测仪将重新发送。

3 系统软件设计

线路监测分机对泄漏电流、环境温度、湿度和雨量的采集时间为10 min,考虑到现场实际的数据可能会受到干扰发生剧烈的变化,取10 min的平均值作为当前值,雨量是累计量,取10 min雨量的和作为当前值。

远程数据服务器是一个设立在Internet上的数据接收终端,服务器软件系统以图形化编程语言LabVIEW为核心,LabVIEW作为应用最为广泛的图形化编程语言,能够帮助用户快速开发出系统软件,通过LabVIEW的数据连接工具包(Database Connectivity Toolkit),实现了数据动态存入SQL Server数据库,开发了数据分析处理服务器专用软件,接收各监测点的数据,并实时存储到SQL Server数据库,线路监测分机程序流程图如图2所示,然后将最新24 h数据显示在监测软件界面上并绘制出动态曲线,中心站软件还具有包括用户登录与管理、数据接收和实时显示、通信管理以及

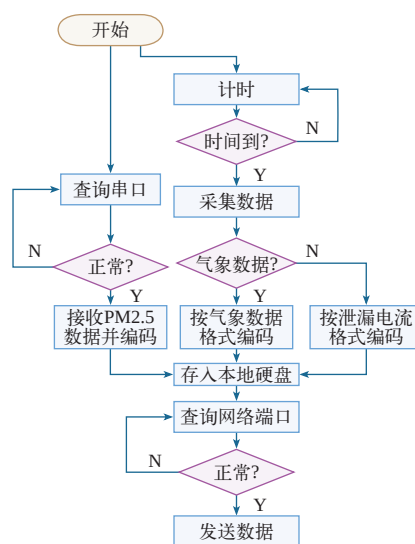


图2 线路监测分机程序流程图

数据存储、回放、分析及报表生成等功能。中心站服务器界面及其功能如图3与图4所示。

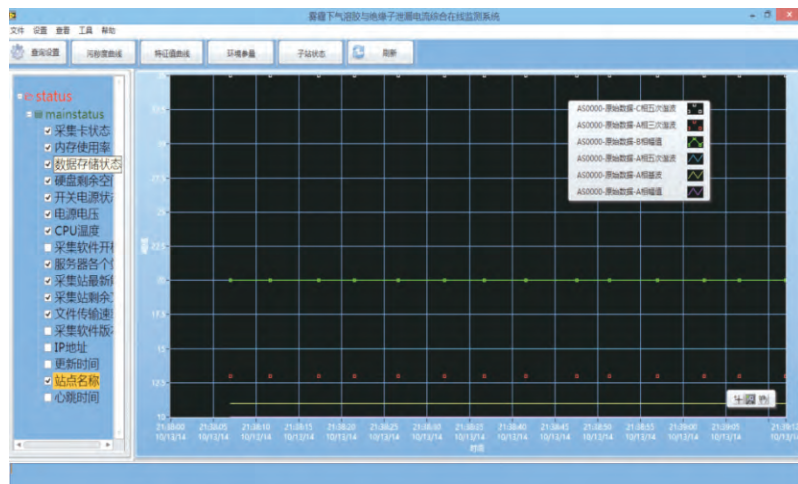


图3 服务器主界面

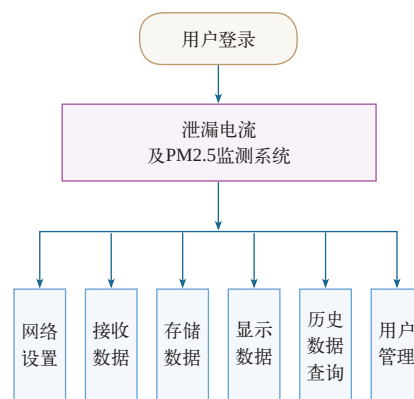


图4 服务器的主要功能

4 监测结果

4.1 环境温湿度

现场气象数据涉及到的量有温度、湿度、风速、风向、雨量、大气压、雨水的pH值和电导率^[15-16]，这些量之间存在着多重的共线性，直接来评估气象条件与泄漏电流的大小关系，不仅模型复杂而且还会引起较大的误差。

如图5所示，在深圳地区，空气的温度和湿度具有极好的对应关系，发现温度越高，湿度越低，温湿度相关系数高达0.978，因此温度、湿度两个参量可以只使用其中一个来研究温湿度与泄漏电流的关系。而在河北地区，温度同湿度的关系仅为0.67，远小于南方地区。

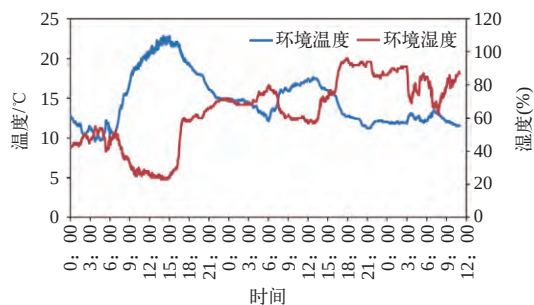


图5 环境温湿度曲线

4.2 PM2.5和泄漏电流

图6、图7与下表为2015年4月17日00:00至2015年4月19日12:00 PM2.5和泄漏电流变化曲

线，在这段时间内PM2.5整体由小变大，存在一个缓慢上升的过程，至2015年4月18日15:00左右，PM2.5达到最高值。泄漏电流A、B和C三相间电流值变化曲线几乎相同，说明在同一地点不同相绝缘子外表面状态差异不大。泄漏电流在2015年4月18日15:00变化均较小，但随后迅速由250 μA 增大到450 μA ，最大值的出现时刻同PM2.5有较好的对应关系。但当PM2.5小于100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时，两者并没

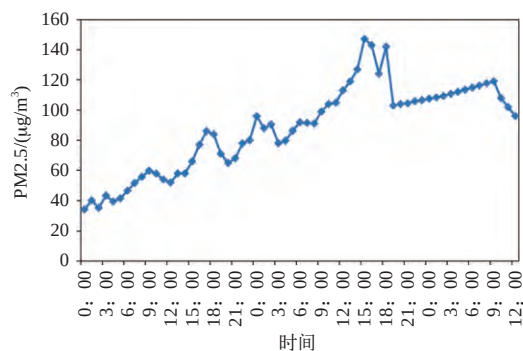


图6 PM2.5变化曲线

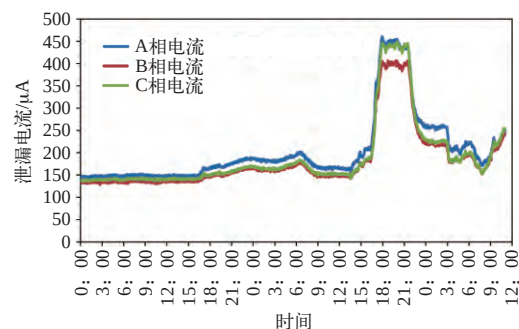


图7 泄漏电流值

有很强的相关性,可以说PM2.5只有上升到一定程度并在一定湿度下才会造成泄漏电流的增大。

表 泄漏电流与PM2.5的对应关系

时间	A相电流 /μA	B相电流 /μA	C相电流 /μA	PM2.5 /(μg/m ³)
0:00-12:00	147.56	134.85	140.10	40.75
12:00-0:00	168.64	150.76	153.92	66
0:00-12:00	179.14	158.92	163.23	84.38
12:00-0:00	336.24	302.81	323.50	110.71
0:00-12:00	221.97	197.94	202.71	98.46

5 结束语

本文研制的绝缘子泄漏电流和PM2.5实时综合监控系统将3G、ZigBee、Internet及LabVIEW技术结合在一起,实现了输电线路绝缘子泄漏电流、环境参量和PM2.5监测的同步监测,系统投入运行以来运行正常,可靠性高,真正实现了对雾霾环境下绝缘子泄漏电流及PM2.5的实时监控。该系统经过一年多的实际运行,获得了大量的泄漏电流数据、环境数据与PM2.5的数据,为研究雾霾对输电线路外绝缘子的影响提供基础的研究数据。

参考文献

- [1] 宿志一. 雾霾天气对输变电设备外绝缘的影响[J]. 电网技术, 2013(8): 2284-2290.
- [2] Suda T. Frequency characteristics of leakage current waveforms of a string of suspension insulators[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(1): 481-488.
- [3] Mao Yingke, Guan Zhicheng, Wang Liming, et al. Investigation of leakage current of outdoor insulators with a newly developed monitoring system[C]. Proceedings of the 14th International Symposium on High Voltage Engineering, Beijing, China, 2005: 26-29.
- [4] 蒋兴良, 刘洋, 孟志高, 等. 雾霾对绝缘子交流闪络特性的影响[J]. 高电压技术, 2014(11): 3311-3317.
- [5] 周显达. 大气参数对电气设备外绝缘影响的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [6] 胡毅, 刘凯, 吴田, 等. 输电线路运行安全影响因素分析及防治措施[J]. 高电压技术, 2014(11): 3491-3499.
- [7] 董冰冰, 蒋兴良, 黄俊, 等. 雾对棒-板空气间隙交流放电特性的影响[J]. 高电压技术, 2014(5): 1339-1344.
- [8] 李永刚, 黄成才, 汪佛池, 等. 雾霾天气对复合绝缘子运行性能的影响[J]. 电网技术, 2014(7): 1792-1797.
- [9] 马军. 模拟雾霾对输电线路外绝缘的影响及监测装置的设计[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [10] 邓鹤鸣, 何正浩, 许宇航, 等. 雾霾对冲击放电路径影响特性的分析[J]. 高电压技术, 2009(11): 2669-2673.
- [11] 屠幼萍, 孙佑飞, 彭庆军, 等. 雾霾环境下自然积污绝缘子的污秽颗粒粒径分布特性[J]. 高电压技术, 2014(11): 3318-3326.
- [12] 律方成, 马建桥, 汪佛池, 等. 雾霾天气下动车组支柱绝缘子表面污秽分布规律[J]. 高电压技术, 2014(11): 3305-3310.
- [13] Suda T. Frequency characteristics of leakage current waveforms of an artificially polluted suspension insulator[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2001, 8(4): 705-709.
- [14] 徐志钮, 苗鹏超. 采样电阻值对泄漏电流中脉冲分量采集结果的影响及机理初步分析[J]. 高电压技术, 2015(1): 167-177.
- [15] 陈庭记, 蔡炜, 邓鹤鸣, 等. 复合绝缘子综合监测现场应用探讨[J]. 电瓷避雷器, 2013(5): 31-35.
- [16] 黄新波, 张晓伟, 李国倡, 等. 输电线路在线监测技术在青藏联网工程中的应用[J]. 高电压技术, 2013(5): 1081-1088.

(收稿日期: 2015-08-18) EA