

文章编号: 1001-1609(2007)03-0197-03

新型手持式低零值瓷质绝缘子检测仪控制器的研制

仲雁兵¹, 江秀臣¹, 徐青龙², 胡岳¹

(1. 上海交通大学电气工程系, 上海 200030; 2. 常熟市供电公司, 江苏 常熟 215500)

Design of a Novel Portable Faulty Insulator Detector Controller

ZHONG Yan-bing¹, JIANG Xiu-chen¹, XU Qing-long², HU Yue¹

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China; 2. Changshu Power Grid, Changshu 215500, China)

摘要: 手持式低零值绝缘子检测仪控制器的主要功能是控制测量装置的动作、绝缘子分布电压数据接收、实时数据显示、分析判断低零值位置和相关信息的存储。控制器参照电力线路杆塔现场工作人员的具体操作要求而研制, 根据绝缘子串的分布电压进行低零值绝缘子的判断。

关键词: 低零值绝缘子; 相邻比值法; 电磁兼容

中图分类号: TM571 文献标志码: A

Abstract: A controller was needed in portable faulty insulator detector, and its main functions were: controlling the operation of measuring device, receiving distributing voltages data on insulator string, displaying data in real-time, and detecting of faulty insulators. According to the operating requirement of power tower on-site, the controller was developed, and faulty insulator was estimated based on voltage distribution.

Key words: faulty insulator; adjacent ratio method; EMC

0 引言

输电线路杆塔绝缘子串中如果存在劣化绝缘子, 一旦有过电压出现, 就会造成绝缘子内部击穿, 瓷质完全丧失绝缘能力, 从而产生低零值绝缘子。雷击和污闪产生的瞬时短路电流严重时可能会引起低零值绝缘子的过热爆炸, 从而产生掉串事故, 对输电线路安全运行构成极大威胁^[1]。在我国, 瓷制绝缘子是使用最广泛的一种绝缘子, 其年平均劣化率为6‰, 远高于日本等发达国家的十万分之二到三^[2]。因此, 必须定时地对线路绝缘子进行检测, 并及时更换低零值绝缘子。

在符合《电力线路安全工作规程》的条件下, 为了方便输电线路现场工作人员和提高仪器的抗干扰能力, 研制了新型低零值绝缘子检测仪, 重点讨论了手持式低零值绝缘子检测仪控制器的硬件实现和检

测方法分析。

1 结构功能与实现

1.1 系统概述

手持式低零值绝缘子检测仪主要分为测量端和控制器两部分。测量端主要负责绝缘子电压测量、电压校准和测量数据发送; 控制器的主要功能是控制测量装置的动作, 以及相关的后续信息处理。主要包括启动测量装置、接收绝缘子分布电压信息、实时电压显示、低零值绝缘子位置的判断分析、实时显示和相关电压数据存储。存储的数据可以与PC机连接。检测仪的系统框架以及硬件结构功能见图1、2。

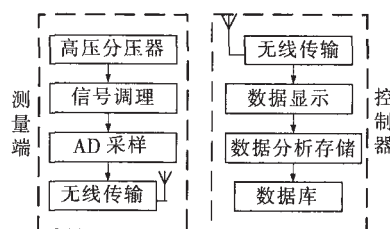


图1 检测仪的系统框架

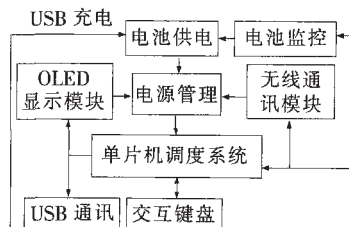


图2 控制器硬件系统结构功能

控制器和测量端的通讯使用无线传输方式, 方便多工作人员的现场通讯和操作; 每串绝缘子分布电压数据实时显示, 使用自发光的OLED显示屏, 从而克服了现场环境下工作人员无法看清显示屏幕的缺点; 所得数据可以进行实时存储和回放, 从而可以

收稿日期: 2007-01-12; 修回日期: 2007-04-27

作者简介: 仲雁兵(1982-), 男, 在读研究生, 研究方向为高电压与绝缘技术。

方便查询整个杆塔的绝缘子串数据;实时地对串分布电压进行分析,从而判断出低零值绝缘子的位置,并实时显示判断结果。接收的数据可以通过 USB 导入数据库中进行备份和历史分析。

1.2 无线通讯

测量端的操作需要工作人员爬上杆塔使用金属探头对绝缘子金具两端电压进行测量。为了方便测量端与控制器的通讯,使用了无线传输方式。输电线路杆塔存在的干扰主要包括谐波以及导线、金具产生的电晕干扰(RI)。对无线电波的干扰主要是电晕引起的干扰。在杆塔上或者杆塔附近,无线电干扰水平主要与无线干扰频率有关,并且随着频率的增加,干扰水平呈逐渐下降趋势。频率在 0.5~30 MHz 范围内,干扰水平随频率的增加而迅速衰减。对于 49.75~222.75 MHz 的电视广播带及其以上的频率,电晕引起的干扰可以忽略^[3]。

基于上述原因,控制器选用了载波频率处于 ISM 频段(可调)的低功耗 RF 收发一体芯片 CC1010。该芯片供电电压 2.7~3.6 V,最大发射功耗不超过 125 mW(+21 dBm),适用于电池供电的便携式系统。接收灵敏度是由数据波特率和分离频率共同决定的。分离频率 64 kHz,波特率 9.6 kBaud 时,接收灵敏度为 -102 dBm。在地上 2 m 的高度、电磁干扰较少的环境下,经实际测量其发射、接收距离可以达到 150 m。芯片内部集成了一个 8051 内核,因此不需要再额外增加控制芯片,使得其易于操作和控制。使用了 50、1/4 波长的绕线天线,匹配电路见图 3。在匹配电路和天线之间增加了一级 LC 低通滤波电路,目的是消除谐波干扰的输出、增加灵敏度。但是在实际应用中,影响无线模块通讯距离的因素主要是其电路板自身受到控制器主板的电磁干扰,而非天线受到的干扰,具体分析见 1.6。

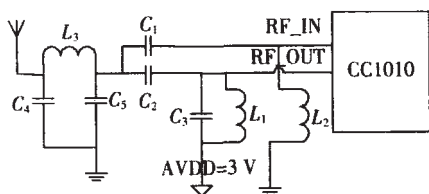


图 3 增加 LC 滤波的天线匹配电路

电力杆塔的高度考虑到的实际因素较多,对于 35~220 kV 的电力杆塔,其一般高度在 18~60 m 之间。由于城郊结合部的电力杆塔可能处于居民用房之中,220 kV 杆塔最大高度可以达到 80~100 m,所以如果控制器由地面人员操作,控制横担上的测量端,通信距离也符合实际要求。

1.3 显示模块

对于控制器而言,由于操作人员需要现场实时获得对绝缘子测量的结果,因此需要一个可以在户外现场环境下辨识清晰的显示屏。该控制器使用了有机致

电发光模块(OLED)。与 LCD 相比,OLED 属于主动发光器件,无视角问题;重量轻,厚度小;亮度及发光效率高。普通 LCD 亮度最大不会超过 300 cd/m²,在太阳光下难以辨识清楚;而 OLED 由于其可以调节的自发光特性,亮度达到太阳光直接照射下可辨识的要求。模块的驱动电压较低(11 V),工作电流小,对于 132×64 象素的显示屏耗电仅几十毫安,适于在小型便携式设备中使用。

1.4 后台数据传输

绝缘子电压数据通过 USB 方式由单片机存储器导入 PC 机的数据库中,即插即用、方便快捷。设备中采用的是 USB-miniB 口下行连接,体积轻巧。USB 硬件控制器集成在 C8051F320 单片机中,不需要增加额外硬件,并且 USB 的软件支持也非常完备。虽然 USB 体系结构决定了其软件协议的复杂性,但标准化的软件结构也使得程序的编写只需在模板的基础上根据实际应用采取相应的改动即可。

1.5 电源管理

由于控制器是便携式设备,需要使用价格较为便宜的碱性电池或镍氢电池供电,所以控制器利用高转化效率的升压 DC-DC 模块,实现了宽范围电源输入(0.9~3.0 V)。3 种输出电压 3.3、3.0、11.0 V,分别接入 MCU、无线模块、OLED 模块。

由于控制器装备有 USB 连接器,与 PC 机连接后整个设备使用 USB 总线方式供电量。USB 在本系统中除了基本的数据传输功能外,还可以给电池充电。一般设备连接到 PC 机后的供电方式都会采用总线供电,给电池充电的电流取决于 USB 总线的供电能力,普通设备默认设置最大供电电流 100 mA,该控制器配置为 400 mA(在 USB 配置描述符中配置)。USB 总线最大供电电流为 500 mA,但是长期处于大供电电流状态会加剧 PC 机 USB 总线的损耗,并且多数 PC 机并没有很好的做 USB 电源管理,所以不建议使用太大的充电电流。

1.6 电磁兼容及干扰屏蔽

由于使用电池供电,则电源模块中的开关电源势必会产生外界辐射高频电磁波,对 RF 收发芯片产生电磁干扰。经过示波器交流耦合测量,无线模块电压输入端的电源纹波有效值为 30~80 mV,纹波系数 1%~2.7%。使用 FFT 频谱分析见图 4,可以看出开关电源的频谱是非常宽的,是影响无线模块传输距离的主要因素。所以必须对无线通讯模块增加屏蔽措施。在没有增加屏蔽、控制器主板和无线模块靠近的情况下,实际测量通讯距离不超过 50 m。

对于开关电源来说,产生干扰的元件主要是外接电感,因为其瞬时的电流方向切换会产生高频尖峰信号从而引起严重的电磁干扰。因此无线模块的放置要尽量远离电感;并且主板使用 4 层板结构,使

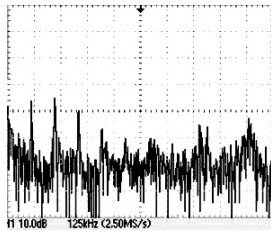


图 4 开关电源的频谱分析

地层在电源层与无线模块之间,减小开关电源的空间耦合信号;无线模块的电压输入端加大滤波措施;无线模块收发芯片 CC1010 使用铁腔体屏蔽。经过以上处理之后,其有效通信距离在 100 m 以上。

2 控制器的低零值绝缘子检测方法

2.1 基于分布电压的检测方法

控制器在接收到测量端的绝缘子串分布电压数据后,就要进行相应的低零值绝缘子判断。检测劣质绝缘子片的原理目前有很多种,如分布电压、超声波探伤、红外成像等^[4]。但是除分布电压之外,基于其它原理的检测仪检测标准目前没有有效的数据支持,并且只有承担的分布电压低的劣质绝缘子(低零值绝缘子)才是必须更换的。所以控制器使用基于分布电压的检测方法。通用的基于分布电压检测低零值绝缘子的判断方法有 3 种,即门限电压法、相邻差值法、相邻比值法^[5]。

门限电压法即为盘形悬式绝缘子劣化检测规程中规定的对悬式绝缘子测量电压分布的判断标准。但是由于不同线路、不同电压等级的绝缘子最小电压差别较大,所以现在较少采用。

相邻差值法是把串分布电压的 U 型曲线划分为下降区、平缓区、上升区 3 段(可以利用一元线性回归的方法,分别求出 3 个区域的相关系数来检验此划分区域的相关程度)。再利用一个已知为低零值的绝缘子分别放置在 3 段区域中的某一位置,得到 3 段区域中低零值串分布电压各自的最小差值。最终的判断是用门限电压法和相邻差值法相结合的方法。此法漏检率最低^[6],但是需要对不同电压等级的绝缘子串进行试验,并且相同电压等级的串的片数也不尽相同,所以控制器并没有采用此检测方法,而是使用相邻比值法。

2.2 相邻比值法的分析

相邻比值法的优点是可以排除电压等级、绝缘子串的片数以及所在环境等外在因素的影响,仅仅针对相邻 3 个绝缘子的分布电压进行分析。相邻比值法的判据目前实际使用的有两种,主要区别是相邻绝缘子电压的选取。

判据 1: 设第 n 片绝缘子分布电压有效值为 U_n , 与其相邻的前后一片绝缘子的分布电压为 $U_{n \pm 1}$, 取前后一片中较小者,则相邻比值为

$$R = \left| \frac{U_n}{U_{n \pm 1}} \right|_{\max} \times 100\%$$

当第 n 片绝缘子相邻比值 $R < K\%$ 时,即可判定为低零值绝缘子。K 值我国取 50,日本为 70^[5]。

判据 2 与判据 1 的差别是,取前后一片电压较大者进而求相邻比值。下面分析这两种判据的优缺点。

根据绝缘子串电压分布“U”型曲线,靠近导线端的绝缘子电压相差较大,在输电线路绝缘子分布电压标准值中,相邻两片绝缘子电压变化幅度较大的绝缘子串电压分布见表 1^[7]。

表 1 相邻绝缘子存在明显变化的标准电压

	110 kV、9 片/串	220 kV、14 片/串
靠近导线侧		
第 1 片	19.0 kV	31.0 kV
第 2 片	11.0 kV	16.0 kV

标准中还附加说明了对于中向靠近导线侧第 1 片绝缘子分布电压应乘以相别系数 1.1。所以对于 110 kV 和 220 kV 线路的良好绝缘子串,导线侧前两片电压相邻比值应在 50% 左右。因此如果根据判据 2,使用相邻绝缘子中的大电压作比较,可能会引起良好绝缘子的误判。

对于判据 1,假设如果出现连续低零值绝缘子,那么此方法会出现漏检的情况。但是在实际工程当中,绝缘子串出现连续两个甚至更多低零值绝缘子的几率非常小,所以此情况可以忽略不计。使用此方法的漏检率不会超过 5%^[6],因此控制器使用判据 1。

有数据表明,如果绝缘子串中存在低零值绝缘子,此绝缘子无论是在绝缘子串的任何位置,都会使两侧相邻绝缘子电压降较对应位置上的标准绝缘子串的分布电压大为增加,增幅均会高于 50%^[8]。因此,相邻比值法可以有效地检测出低零值绝缘子的位置。

3 结语

作为低零值绝缘子检测仪的一部分,控制器最关键的作用是接收测量端传输的数据并进行低零值绝缘子的判断。使用检测仪对江苏某供电公司的一个 220 kV 线路杆塔进行了测试,所挂绝缘子为双串,18 片/串。测量 220 kV 单相结果见表 2(导线端起测)。测量结果中的电压分布为“U”型曲线,电压精度达到 2%,满足检测仪的测量要求。对于低零值绝缘子的判断,使用了数值模拟测量的方式进行了检测,符合相邻比值法判据的要求。该检测仪适宜于现场检测,测量方式灵活,使用方便,没有冗余操作,大大节约了杆塔巡检工作所耗费的人力和物力。

参考文献:

- [1] 郑江. 输电线路零值绝缘子的影响及其对策[J]. 电力建设, 1998(7): 53. (下转第 202 页)

网络列表和描述。②打开指定的网卡；③设置过滤器，将网卡设置为混杂模式，这样就可以收集到所有流过本机的数据信息；④打开文件；⑤循环捕捉数据并调用 WinPcap 提供的函数将数据存储到堆文件。

2.3 帧数据的重组及处理

WinPcap 捕获的帧数据流中包含了前导码、帧首定界符、目的地址、源地址等与三相电流、电压采样值无关的冗余信息，必须对采集到的以太网数据包进行信息分类和重组，得到各相电流、电压、额定延迟时间、采样率等信息。其过程见图 4。

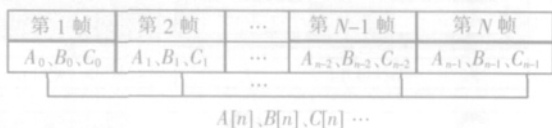


图 4 帧信息重组示意图

对帧数据的重组主要由后台的处理程序完成，在程序中重新定义数据结构体和接收信息数组。WinPcap 采集到的数据堆文件是连续的帧信息，ANSI C 提供了丰富地文件操作函数，笔者利用 fopen() 函数打开堆文件，fread() 函数将二进制帧信息读取到结构体中，建立结构体指针，利用它分别抽取每一帧信息中的电压、电流、采样率等信息，构成新的电压、电流数组，实现了帧信息的分离与重组，对每一个独立的数组就可以方便地进行各种运算。

合并单元中数字输出口一直向外传送数据，该分析仪只是截取了一个时间段内的数据进行抽样分析，得到的信号是有限长度的离散时间信号，从中取一个周期来计算各次谐波的幅值和相位。针对工频量，计算幅值和相位的算法很多，笔者采用 DFT 算法。

$$A_h = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} f(i) \cos \frac{2}{N} kh; B_h = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} f(i) \sin \frac{2}{N} kh;$$

$$h=0, 1, 2, \dots, N-1.$$

其中 N 为采样点数，f(i) 为采样值。各次谐波基波幅值 C_h 和相位 ϕ_h 为

$$C_h = \sqrt{A_h^2 + B_h^2}; \phi_h = \arctan(A_h/B_h)$$

2.4 实验结果

利用该方法设计的分析仪，其前台操作界面见

图 5。连接电子式互感器合并单元，测试其中一路互感器信号，点击“信号采集”按钮进行数据采集，然后传递给后台进行数据处理，LabWindows/CVI 函数库中提供了专门的绘图函数，只需构成信号数组，即可完成波形的绘制。实验结果见图 5，从测试结果来看，其显示波形的基波幅值等各项指标与所加测试信号一致，说明该分析仪设计合理，测试准确。

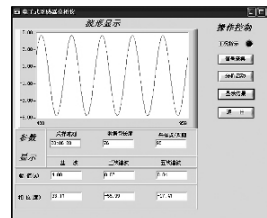


图 5 实验测量结果

3 结语

针对电子式互感器采用以太网输出的形式，在没有专门测试工具的情况下，引入虚拟仪器技术，设计开发了虚拟分析仪，结合自制的合并单元，测试了电子式互感器数字输出的性能。实验表明该虚拟分析仪所分析和处理的结果真实可靠，并且其成本低廉、操作简单、易于维护，是开发电子式互感器合并单元的有效测试工具，可以在实验室广泛应用。

参考文献:

[1] 李 萌, 李红斌, 冯 凯. 基于嵌入式以太网的电子式互感器数字输出[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(13): 93-95.

[2] IEC 61850-9-1. Communication Networks and Systems in Substations. Part9- 1: Specific Communication Service Mapping (SCSM)-sampled Analogue Values Over Serial Unidirectional Multidrop Point to Point Link[S]. 2002.

[3] 孙晓云, 郭立炜, 孙会琴. 基于 LabWindows/CVI 的虚拟仪器设计与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

[4] 刘君华. 基于 LabWindows/CVI 的虚拟仪器设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.

[5] DEGIOANNI L, TORINO P D. The NetGroup at politecnico di Torino[Z]. WinPcap Documentation3.0, 2003.

[6] 李雪莹, 刘宝旭, 许榕生. 基于 WinPcap 的网络监控系统性能优化[J]. 计算机工程, 2004, 30(1): 8-9.

[4] 王 雪, 张冠军, 严 璋. 国内高压绝缘子在线检测方法综述[J]. 电磁避雷器, 2002(6): 3-5, 8.

[5] 江秀臣, 李 锋, 傅正才, 等. 低劣值绝缘子判断方法的研究[J]. 高电压技术, 1995, 21(3): 72-74.

[6] 刘正响, 黄长学. 500 kV 输电线低劣值绝缘子对分布电压的影响及判断方法的研究[J]. 高电压技术, 1992, 18(2): 24-27.

[7] DL/T 626-2005. 中华人民共和国电力行业标准 劣化盘形悬式绝缘子检测规程 [S]. 中华人民共和国国家发展与改革委员会, 2005.

[8] 吴光亚, 王铁街. 劣化绝缘子对长串绝缘子电压分布的影响[J]. 高电压技术, 1997, 23(4): 59-60.

(上接第 199 页)

表 2 220 kV、18 片绝缘子串测量结果

片号	电压/kV	片号	电压/kV	片号	电压/kV	总和/kV
1	25.9	7	5.5	13	2.4	126.7
2	18.6	8	4.6	14	2.3	
3	15.3	9	4.2	15	2.1	
4	11.9	10	4.1	16	2.2	
5	9.2	11	3.1	17	2.4	
6	7.1	12	2.7	18	3.1	

[2] 陈学东. 对运行中瓷绝缘子零值劣化若干问题的探讨 [J]. 广东电力, 1998, 11(4): 68-71.

[3] 彭育俊. 浅谈输电线路的电晕干扰 [J]. 中国科技信息, 2005 (21): 127.