

500 kV 充油电缆局部放电在线监测系统的研究

张百华¹, 江裕熬^{1,2}, 郭海峰¹, 高乃奎², 彭宗仁²

(1. 广州蓄能水电厂, 广东 从化 510950; 2. 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)

Study on the On-line Partial Discharge Monitoring System for 500 kV Oil-filled Cable

ZHANG Bai-hua¹, JIANG Yu-ao^{1,2}, GUO Hai-feng², GAO Nai-kui², PENG Zong-ren²

(1. Guangzhou Pumped Storage Power Station, Conghua 510950, China;

2. State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

摘要: 根据某水电厂 500 kV 充油电缆的运行方式, 提出了 500 kV 充油电缆局部放电在线监测系统的整体方案, 研制了整个在线监测系统的硬件和软件, 开发了 500 kV 充油电缆局部放电在线监测系统, 已投运于该水电厂 A 厂 AB 联络线 500 kV 充油电缆出线端终端的在线监测。监测结果表明, 该系统不但可以准确计算、显示 7 个放电参量, 并且可以显示 4 种放电图谱, 能有效地判断绝缘的放电状态。

关键词: 充油电缆; 局部放电; 在线监测

中图分类号: TM835

文献标志码: A

Abstract: According to operating characters of 500 kV oil-filled cable of a storage power station, the integrated scheme of on-line partial discharge monitoring system for 500 kV oil-filled cable is presented in this paper. Moreover, the all hardware and software of system are developed. The system had been applied on the AB link line terminal of a station of the storage power station. The monitoring results indicate that the system not only can calculate and display seven discharge parameters exactly, but also can display four charts, furthermore, can estimate discharge states of insulation effectively.

Key words: oil-filled cable; partial discharge; on-line monitoring

0 引言

充油电缆是利用补充浸渍剂原理来消除绝缘中形成的气隙, 以提高电缆工作场强的一种电缆结构。高压充油电缆因其耐压等级高、容量大, 主要应用于城网中的主干线和大型水火电厂以及枢纽变电站的进出线等, 在电网中处于非常关键的位置。

充油电缆本体及终端连接处在制造、安装、运行过程中产生的如材料的不纯净、突起引起的绝缘层中的气隙、缺油少油时因浸渍不完全形成的气隙以

及电缆油分解产生的气体等缺陷的存在, 降低了绝缘的击穿场强而导致局部放电的发生^[1, 2]。某水电厂两回 500 kV 高落差充油电缆, 由法国 ALCATEL 引进, 1993 年 3 月安装投运。A 厂 AB 联络线 C 相上终端曾于 1998 年发生过严重破坏事故, 导致 500 kV 充油电缆终端破坏及机组停运。因此, 对电缆的局部放电进行在线监测是及时发现故障隐患、预测运行寿命以及保障电力电缆安全可靠运行的重要手段^[3, 4]。

笔者根据某水电厂 500 kV 充油电缆的结构特性和运行方式, 提出了 500 kV 充油电缆局部放电在线监测系统的整体方案, 研制了整个在线监测系统的硬件和软件, 并以该水电厂 A 厂 AB 联络线为监测对象, 在现场对整个系统进行了安装、调试、运行。

1 监测系统整体方案

该水电厂 A 厂 AB 联络线 500 kV 充油电缆为超低粘度电缆油浸渍的自容式油纸绝缘结构, 电缆全长 600 m, 上下终端落差 200 m, 以其上终端为监测对象。针对该电缆的运行方式, 设计的 500 kV 充油电缆局部放电在线监测系统的整体方案见图 1。整个系统由耦合电容器、传感器、下位机、光纤网络和上位机组成。由图 1 可知, 充油电缆上终端外护层通过 SVL(瞬态电压限制器)接地, 在没有操作过电压和雷电冲击时, SVL 是断开的, 有过电压冲击时将迅速导通接地。外接电容器并联在 SVL 两端, 用于耦合电缆外护层上的高频局部放电信号。传感器套接在该支路上获取的局放信号经过前置放大后用同轴电缆传输到下位机进行信号调理、采集、数据预处理。处理后的数据通过光纤网络传输到上位机进行软件分析、诊断, 上位机输出报警信号接入厂房 SCADA 监控系统。

收稿日期: 2007-05-09; 修回日期: 2007-07-13

作者简介: 张百华(1979-), 男, 湖南省衡阳市人, 硕士, 主要从事高压电气设备的状态检测与诊断技术研究。

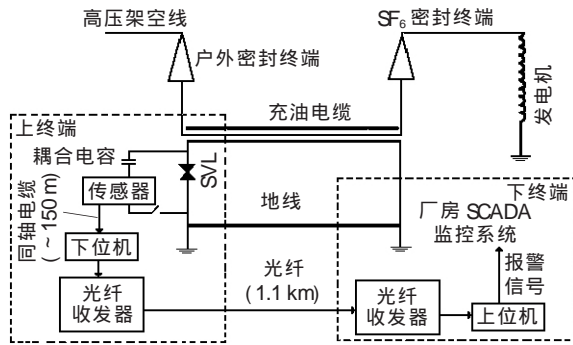


图1 监测系统总体方案示意图

2 监测系统的软硬件设计

2.1 户外式宽频带电流传感器的设计

传感器的设计是在线监测系统设计的关键环节。鉴于罗戈夫斯基线圈(简称罗氏线圈)电流传感器具有结构简单、响应时间快、对被测对象影响小、易于安装等优点^[6],以罗氏线圈为基础设计传感器。笔者选择了MnZn2000、NiZn400、NiZn200以及NiZn60作为线圈的磁芯材料来研究罗氏线圈的性能。

根据安装的需要,设计的磁芯的尺寸为外径62mm、内径40mm、高20mm的圆环形。在磁芯尺寸一定的条件下对不同磁芯材料的线圈进行了幅频特性测量,测试结果见图2。图中:A为MnZn2000,B为NiZn400,C为NiZn200,D为NiZn60。由图2可以看出A号线圈MnZn2000的频率响应最好,灵敏度最高,工作频带满足系统监测要求。

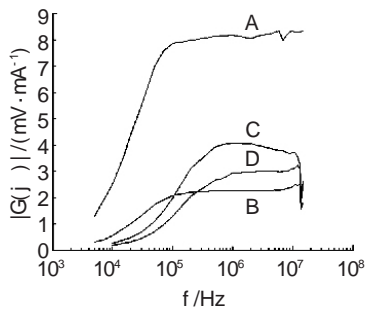


图2 不同磁芯材料罗氏线圈的幅频特性

在选定磁芯材料后,传感器将有一个最佳的积分电阻和线圈匝数的匹配。

图3(a)为不同线圈匝数时罗氏线圈的幅频特性,A为N=10匝,B为N=12匝,C为N=14匝,积分电阻R均为100。由图中对比可以看出B号线圈在高频阶段响应最为稳定。图3(b)为不同积分电阻时罗氏线圈的幅频特性,A为R=100,B为R=75,C为R=50,线圈匝数均为12。从图中可以看出,随着积分电阻的增加,灵敏度明显增加,积分电阻为100时,灵敏度约为8.33mV/mA,但积分电阻过大将减小频带宽度。

对各种不同匝数与积分电阻组合的线圈进行反复试验,发现对于给定线圈尺寸条件下,以MnZn2000

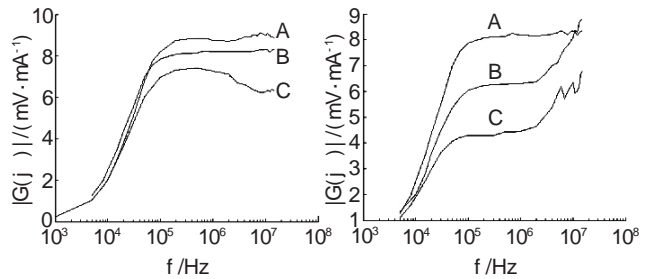


图3 不同线圈匝数与不同积分电阻时罗氏线圈的幅频特性

作为磁芯材料,当线圈匝数为12匝、积分电阻为100时,线圈在10kHz~10MHz频域范围,幅频特性最为理想。

为解决户外防风防雨以及屏蔽干扰问题,笔者设计了户外式传感器箱。传感器箱的整体结构由4个部分组成:传感器、开关电源、前置放大器和接线端子。罗氏线圈安装在黄铜制作的屏蔽盒内,以保护线圈以及屏蔽外部的电磁干扰。传感器箱的外壳采用不锈钢制作,密封结构,可防止雨水侵蚀且可以屏蔽外来噪声干扰。传感器的总体测量3dB带宽为10kHz~10MHz,脉冲响应灵敏度约为8.3mV/mA,满足系统的监测要求。

2.2 信号调理单元的设计

局部放电信号经过100m左右的同轴电缆传输之后,信号会有衰减,同时也会引入干扰信号。数据采集卡对于输入信号的幅值范围也有一定的要求,为了将输入信号的幅值调整到采集卡的输入范围,获得最佳的信号采集效果,下位机中,在数据采集前进行了信号调理。图4为下位机的整体结构框图。图中虚线内的部分为信号调理单元。

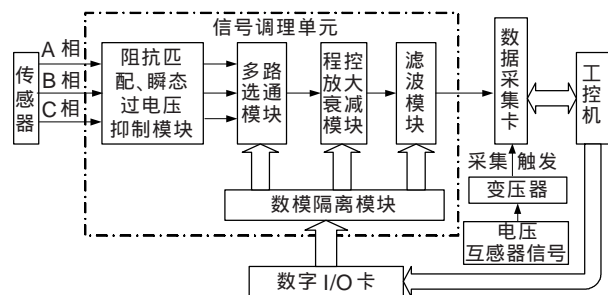


图4 下位机整体结构框图

图4中采集卡外部触发信号取自厂房的PT,以保持局部放电信号与电缆电压的相位同步。硬件滤波模块设置了10kHz~400kHz、10kHz~2MHz和10kHz~10MHz 3个滤波段。滤波电路采用Butterworth型二阶带通滤波器。前两个滤波频段的运算放大器采用AD8032,在10kHz~10MHz滤波频段采用AD8056。AD8032的3dB带宽为80MHz,输入阻抗为40M,开环增益为80dB;而AD8056的3dB带宽为300MHz,增益偏差为0.01%,相位偏差为0.02°;高频响应优于AD3032,故高频滤波时采用AD8056。

2.3 光纤网络和报警单元的设计

在电厂高电压、大电流的环境中,存在强大的电磁干扰和地电位的升高。采用普通的同轴电缆传输高频信号将产生能量衰减和信号畸变,因此,笔者提出通过光纤局域网来实现上下位机的通讯。

光纤网络由 4C 单模光缆 1 100 m、ST-ST 光纤尾纤、ST-SC 光纤跳线、ST 耦合器、10/100Mbps 光纤收发器组成。网络安装后一次调试通过,带宽为 100 Mbps。

报警单元由数字 I/O 卡(PCL725)和固态继电器(SSR)组成,系统采用 PCL725 先驱动外接继电器,然后由继电器输出一对空节点提供给 SCADA 监控系统使用。上位机对监测的最大放电量、平均放电量等 7 个参量设置了警戒阈值,一旦超过警戒阈值将通过报警单元发出报警信号。

2.4 监测系统的软件设计

监测系统的硬件操作、数据分析、结果输出以及远程通信等功能全部包含在软件系统中。从系统的功能模块划分,软件系统划分为系统初始化、系统控制、数据采集、软件滤波、数据处理、数据通信、系统设置、数据分析及诊断、数据存储与查询、放电显示及报警输出等 10 个模块。软件系统的总体结构见图 5。

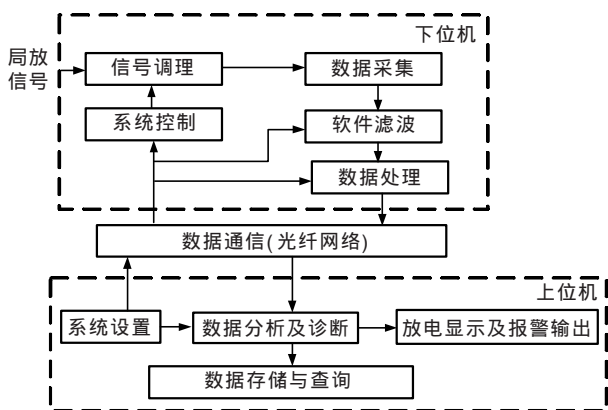


图 5 软件系统总体结构图

基于虚拟仪器技术开发的高压充油电缆局部放电在线监测系统主界面见图 6。监测系统既可以显示基本放电参量,又可以显示放电谱图。放电参量包括:最大放电量 q_{max} 、平均放电量 q_{mean} 、中心放电量 q_{cen} 、中心放电次数 N_{cen} 、总放电次数 N_{total} 、 $q-N$ 谱图的偏斜度 Sk 、 $q-N$ 谱图的峭度 Ku 。放电谱图包括:放电量相位谱图 $q-\phi$ 谱图、放电次数相位谱图 $N-\phi$ 谱图、放电量与放电次数谱图 $q-N$ 谱图、放电量-放电相位-放电次数三维谱图 $q-\phi-N$ 谱图。其中,中心放电次数为 $q-N$ 谱图中放电次数最多的放电,该最大值对应的放电量为中心放电量。

3 系统现场集成与监测结果分析

3.1 系统的现场集成

系统现场安装分为耦合电容器和传感器箱安

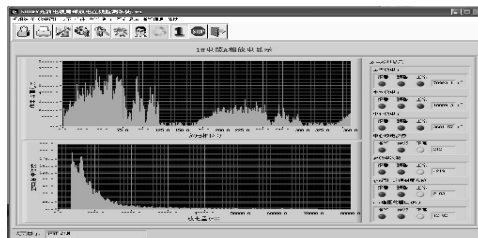


图 6 系统主界面

装、上下位机的安装固定和光纤网络的线路铺设等。耦合电容器和传感器的安装实物图见图 7。

下位机安装在出线场 500 kV 电缆洞的通风口处。上位机则安装在厂房 GIS 室,便于信号传输和监测控制。上位机安装图见图 8。

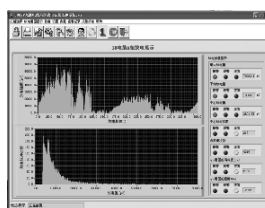


图 7 耦合电容器和传感器的安装图



图 8 上位机安装图

3.2 监测系统的校准

在测量局部放电信号前,首先要用放电脉冲的局部放电校准仪对系统进行校准,以获得系统输出信号与放电量 pC 之间的关系。对于监测对象而言,要求在监测对象停电的情况下,加在充油电缆上终端出线场的隔离开关上。校准时的接线图见图 9。该系统可以自动进行校准,只要用户输入校准方波的大小和系统的衰减系数,系统就能够根据检测到的脉冲大小和相应的衰减系数自动计算校准系数。系统的校准界面见图 10。现场对 10、100、1 000 pC 放电量校准档位分别进行了校准,校准过程中能最小分辨出 10 pC 的放电量。

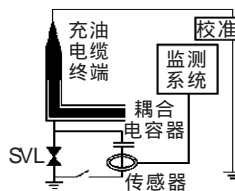


图 9 校准接线图

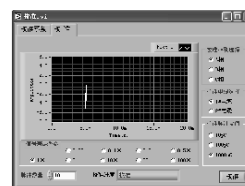
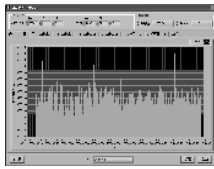


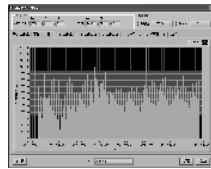
图 10 系统校准界面

3.3 系统的监测结果分析

在完成系统的集成和校准后,现场进行了调试试验,包括上下位机的网络通讯试验、硬件控制试验和模拟监测试验,试验合格,投入运行。图 11、12 是系统投运后 2006 年 8 月 14 日到 10 月 25 日连续测量 73 天的 AB 联络线充油电缆 A 相的最大放电量、平均放电量、 Sk 和 Ku 的历史记录结果。由图中可以看出,A 相最大放电量在 4 500 ~ 5 700 pC 间变化,变化幅度在 4.4%左右,期间出现了 2 次较大的 5 200 pC 左右的放电,总体曲线平缓,没有大的突变;平均放

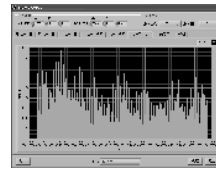


(a) 最大放电量

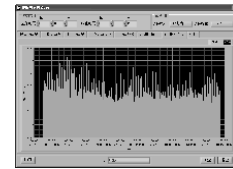


(b) 平均放电量

图 11 最大放电量与平均放电量随运行时间的变化



(a) Ku



(b) Sk

图 12 Ku、Sk 随运行时间的变化

电量在 2 200 ~ 2 300 pC 变化, 变化幅度在 4.5% 左右; Ku 在 2.6 ~ 2.9, 变化幅度在 11.5% 左右; Sk 在 0.6 ~ 0.8, Sk、Ku 均为正值, 说明电缆的绝缘状况良好。总体分析可以看出放电量变化幅度较小, 曲线平缓, 表明充油电缆运行平稳, 与监测系统显示的放电状态一致。

4 结语

开发的 500 kV 充油电缆局部放电监测系统具有频带宽, 抗干扰能力强, 工作稳定性好等优点, 完全满足现场局部放电在线监测的要求。系统的硬件和软件滤波器可有效地滤除现场干扰信号, 增加信噪比。系统软件可实时显示放电谱图, 计算最大放电量、平均放电量、中心放电量、中心放电次数和总放电次数等, 并计算得到谱图偏斜度 Sk 和峭度 Ku。现场运行结果也表明, 该在线监测系统可有效地提取局部放电信号, 准确地计算放电相关参数, 直观地显

示放电谱图, 实现局部放电的智能化监测和诊断。在某水电厂的现场应用中取得良好效果。

参考文献:

- [1] COUDERC D, BOURASSA P. Gas-in-oil Criteria for the Monitoring of Self-contained Oil-filled Power Cables[C]// IEEE Annual Report-conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 1996: 283-286.
- [2] TAKUO NAKIRI, YUICHI MAEKAWA. Long-term Reliability Testing of 500 kV DC PPLP-insulated Oil-filled Cable and Accessories [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1999, 14 (2): 319-326.
- [3] 段建东, 陈天翔, 张保会, 等. 用接地线电流法进行电力电缆绝缘在线监测的仿真计算[J]. 高压电器, 2005, 41(1): 29-35.
- [4] 李明华, 闫春江, 严璋. 高压电缆故障测距及定位方法[J]. 高压电器, 2002, 38(6): 38-40
- [5] 罗俊华, 邱毓昌, 马翠姣. 基于局部放电频谱分析的 XLPE 电力电缆在线监测技术 [J]. 电工电能新技术, 2002, 21(1): 38-40.

(上接第 411 页)

表 2 图 12 局放的统计参数

| 参数类型 | 图 12(a)局放 | 图 12(b)局放 |
|-----------|-----------|-----------|
| 窄带电压/mV | 3.49 | 7.45 |
| 最大放电量/mV | 110.84 | 187.76 |
| 平均放电量/mV | 27.00 | 40.94 |
| 平均放电电流/mA | 6.63e-02 | 0.115 |
| 均方率 | 35.11 | 99.54 |
| NQN | 0.69 | 0.55 |
| 平均放电次数 | 2 904 | 2 490 |
| 阈值/mV | 17.80 | 29.90 |

PVT 能够给出更为清晰的局放趋势曲线。

3 结语

为了研究局部放电的发展趋势, 笔者尝试将金融时序分析方法引入局部放电, 提取了一种表征局部放电变化趋势的特征参数 PVT, 该参数综合局部

放电的放电量 and 放电次数, 相对常规的局部放电特征参数, 能够较清晰地反映出局部放电的发展趋势及其中存在的异常现象。

获取清晰的局放趋势只是局放评估的第一步, 如何对局放的趋势进行量化, 进行定量分析, 实现局放评估的自动化还需要结合专家系统等智能诊断技术做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 黄成军, 郁惟镛, PAOLE G, 等. 局部放电在线监测及其在大型电机中的应用[J]. 大电机技术, 2000(6): 33-38.
- [2] ACHELIS S B. Technical Analysis from A To Z [M]. Chicago: Irwin Professional Publishing, 1995.
- [3] 邵震宇, 黄成军, 赵亚奎, 等. 用 PSO 算法训练神经网络抑制发电机局放随机脉冲干扰 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (11): 49-52.
- [4] 徐冰雁, 黄成军, 钱勇. 多小波相邻系数法在局部放电去噪中的应用[J]. 电网技术, 2005, 29(15): 61-64, 70.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎评刊! 欢迎刊登广告!