

中压开关柜在线监测装置的研制

王小华¹, 苏彪¹, 荣命哲¹, 王从钢², 刘定新¹, 邱娟¹

(1. 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; 2. 西安高压电器研究院有限责任公司, 陕西 西安 710077)

摘要: 针对中压开关柜, 以温度、机械和绝缘状态为监测对象, 研制开发了一套在线监测装置。设计了基于低功耗电子器件和红外通信的接触式测温装置, 具有较高的准确度, 并解决了高电位的隔离问题; 采用角位移传感器间接测量动触头的行程-时间曲线, 有效解决了直线位移传感器安装困难和高电位隔离的问题, 结合操作过程中的振动信号和分合闸线圈电流曲线, 实现了对中压开关柜机械特性的监测; 通过测量断路器环氧套管的泄漏电流来表征绝缘特性。试验表明, 整套在线监测装置稳定可靠。

关键词: 中压开关柜; 在线监测; 传感器

中图分类号: TM591

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)03-0052-04

Development of On-line Monitoring System of Medium Voltage Switchgear

WANG Xiao-hua¹, SU Biao¹, RONG Ming-zhe¹, WANG Cong-gang², LIU Ding-xin¹, QIU Juan¹

(1. State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
2. Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute Co. Ltd., Xi'an 710077, China)

Abstract: For monitoring temperature, insulation and mechanism of medium voltage switchgear, an on-line monitoring system was developed. Based on the low power electronic devices and infrared communication, a contact-type temperature sensor with high precision was designed for the system to solve the problem of high voltage isolation. An angular displacement sensor was used to measure the travel-time curve of the movable contacts indirectly, leading to the solutions of the problems in sensor assembling and high voltage isolation. Furthermore, combining with the vibration signal and the current curve of tripping coils during operation, the monitoring of mechanism condition of medium voltage switchgear could be achieved. The insulation could be characterized by measuring the leakage current of bushing. The test indicates that the on-line monitoring system is stable and reliable.

Key words: medium voltage switchgear; on-line monitoring; sensor

0 引言

成套开关设备是电力系统的关键设备之一, 其运行状态对电力系统的可靠性具有重大影响。资料表明, 近些年中国电力系统配电电压等级的开关故障中, 位居前三位的依次为绝缘故障、机械故障和温升故障^[1]。为实时掌握开关设备的状态信息并变定期检修为状态检修, 开关设备的在线监测势在必行。

笔者针对中压开关柜, 以温度、机械和绝缘状态为监测对象, 研制开发了一套在线监测装置。介绍了监测对象特征参量的选择、提取方法和相应的传感器技术及软硬件措施, 为在线监测技术的发展提供可参考方案。

1 温度状态监测

中压开关柜内部的导电连接处会因电磨损、机

械操作和短路电动力引起的机械振动等原因, 使接触条件恶化, 接触电阻增加, 引起接触点的温度升高, 加剧接触表面的氧化, 导致局部熔焊或接触松动处产生火花, 甚至电弧放电, 最终造成电气设备的损坏, 导致用户停电等重大事故。温度的在线监测是预防这类事故发生的重要手段。

该系统选择母线连接处附近的温度为监测对象。由于监测对象处于高电位, 高低电位的隔离是测温的关键。现有测温方式可分两类: 基于红外辐射的非接触式测温^[2]和采用热敏器件的接触式测温。基于红外辐射的非接触式测温的准确度和可靠性受大气测试环境、距离系数、物体辐射率、工作波长、区域范围和瞬时视场角等各种因素的影响, 要做到准确测量难度很大; 接触式测温具有较高的准确度, 通常采用红外或射频等信号传输方法来实现高低电位的隔离, 但因为前端装置与后端没有电气连接并需要长期稳定运行, 因此该方法的前端电源设计是重

收稿日期: 2008-11-15; 修回日期: 2009-01-23

作者简介: 王小华(1978), 男, 博士, 副教授, 研究方向为在线监测技术、低温等离子体空气净化。

点也是难点。

该系统综合考虑两类测温方式,设计了基于低功耗电子器件和红外通讯的接触式测温装置,该装置由发送端和接收端两部分组成。

测温装置的发送端敷导热硅脂后固定在母线连接处附近,处于高电位,由3.6V工业电池供电,见图1。采用的TMP100数字温度传感器是TI公司的总线数字温度传感器。该芯片的工作电压为2.0~5.0V,温度范围为-55~125℃,误差为±2℃(-25~85℃)/±3℃(-55~125℃)。该传感器显著的特点是超低功耗:静态工作电流仅45μA,关断电流仅0.1μA。单片机选用TI公司的16位机MSP430F123,其功能强大且灵活易用,具有如下显著特点^[3]:低电压供电、宽工作电压范围:1.8~3.6V;超低功耗,3V供电时,正常工作模式下工作电流约为340μA,在该装置用的低功耗模式3下工作电流仅为2μA;灵活且功能强大的编程能力;Flash型,具有串行在线编程能力,调试非常方便;ESD保护,抗干扰能力强。

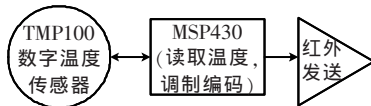


图1 接触式测温装置的发送端

工作时,每间隔一定时间(该系统设置为15s),MSP430通过总线与TMP100通讯,启动TMP100并获取被测点温度。如果温度过高或相邻两次测得的温度变化过大,MSP430将通过串行口并经硬件调制后进行红外发送,发送内容为该发送端的标识符(每个发送端有自己唯一的标识符)、故障类型标识(温度过高故障或温度变化过快故障)和本次温度数据;否则,单片机间隔相当长时间(本系统设置为1h)发送一次,发送内容为发送端标识符、无故障标识和最近一次温度数据。绝大多数时间为非工作时间,此时,MSP430处于低功耗模式3(CPU关断,仅外部低频晶振和TimerA工作),工作电流极低(2μA),TMP100处于关机状态(0.1μA),红外发射管关断。此机制是基于低功耗的考虑,尽量减少各功耗器件的活动时间,由于红外发送时功耗较大(红外发射二极管工作电流约为50mA),必须尽量减少发射次数。

发送端处在高电位,必须将发送端外壳及电路板(电池)地线与母线连接,抬高其地电位,从而避免高电势差导致的放电击穿,电路板的布局和布线也需精心设计^[4],以提高系统的电磁兼容性。为了系统稳定可靠工作,使用单片机自带的看门狗防止干扰严重时的程序跑飞。

测温装置的接收端由胶或螺钉固定在开关柜的框架上,处于低电位,由中央控制单元通过导线

供电,见图2。红外接收端选择将光电转换器、前置放大器、解调电路集成于一体的红外接收头DBM1838。环氧树脂封装提供一个特殊的红外滤光器,可防止自然光的干扰,防止无用脉冲输出。其工作电压为3.3V,静态工作电流为3mA,接收峰值波长0.941μm,工作频率38kHz。可将DBM1838的OUT口直接与MSP430F123的串口相连,但考虑到MSP430F123只有一个硬件串口,为了给监测系统中央处理单元DSP通讯预留串口,这里使用一般的I/O口模拟一个串口。单片机通过模拟串口接收到母线端温度相关数据,等到DSP召唤时,通过485总线将对对应母线相关温度上传给DSP。考虑到工作的稳定性,使用单片机自带的看门狗以防程序跑飞。



图2 接触式测温装置的接收端

整个测温装置由6个发送端和两个接收端组成。6个发送端分别固定在三相进出母线上,采用两个接收端是基于开关柜的机构,为方便红外接收考虑的,每个接收端对应3个发送端。因此,在接收端可以判断三相母线温差过大的故障。图3为三相发送端及其接收端在VS₁型真空断路器上的安装示意图,具体安装尺寸可根据开关柜情况做出调整。

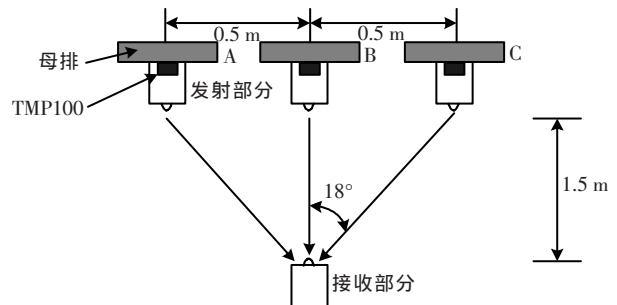


图3 测温模块安装示意图

经试验验证,在残酷的电磁条件下,该测温装置具有较好的稳定性和准确度。除此之外,装置还有体积小、安装方便、成本低等优点。

2 机械状态监测

断路器最严重的机械故障是拒动和误动。而引起此类故障的主要原因有两个:一是操动机构及传动系统的机械失效;另一个是电气控制和辅助回路的故障。

针对这两方面的原因,并结合目前的技术水平和产品成本等因素,对中压真空断路器的机械特性检测以下3方面的内容:断路器触头行程-时间特性的检测^[5,6],由该曲线计算出平均分合闸速度、最大分合闸速度、动触头行程、固有分合闸时间等参量;分合

闸脱扣线圈回路电流的检测^[7,8],记录下整个分合闸过程中线圈电流波形,从分析线圈电流的变化可以诊断断路器机械故障的趋势,同时也可以得到固有分合闸时间等参数;断路器各相振动信号的检测^[6,7],从各相振动信号可提取出刚合(分)点的信息,从而可判断三相合(分)闸的不同周期性。

触头行程-时间特性是断路器工作状态的重要表征,行程测量的基本要求是既不能影响机构原有的机械特性和绝缘性能,又要真实的反映触头行程随时间的变化。此外,传感器还要便于安装,即监测系统的适应性要强,这就要求选用的传感器体积不能太大,并且线性度和灵敏度要尽可能高。传统的直线位移传感器由于尺寸的限制均难以在实际中使用。同时,由于在线情况下动触头处于高电位,对监测系统的隔离措施要求很高,使得直接测量动触头的行程曲线非常困难。

考虑到真空断路器在分合闸过程中,动触头的行程与主轴转动角度之间有一定的对应关系,因此测得主轴的角位移曲线,即可间接得到动触头的直线位移曲线。真空断路器的主轴处于地电位,远离高压部分,不存在高电位隔离的问题,而且一般情况下主轴附近的可用空间很大,能够方便地安装角位移传感器,这种间接测量的方式对多种型号的真空断路器都适用。

笔者选用 WDD35D 系列精密导电塑料电位器作为角位移传感器。主轴的角位移与触头直线位移的关系通过大量的离线试验来确定,并制作出角位移-直线位移表格,供程序查表时使用。典型的角位移与直线位移关系见图 4。进一步计算即可得到各速度和分合闸时间等参量。

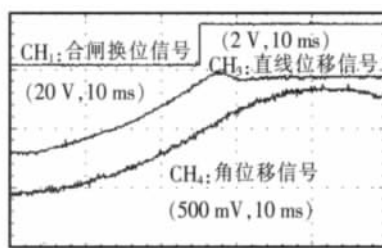


图 4 两种导电塑料位移传感器的测量曲线

分合闸脱扣线圈回路电流由 JT5-B 跟踪型霍尔电流传感器来检测,该霍尔传感器失调电流小,线性度好,响应时间短,跟踪速度快,动态范围大,因而对于保证整个系统的测量准确度和稳定性十分有利。并且由于采用了霍尔磁平衡原理,电气绝缘和抗干扰能力都很强。此外,该传感器体积小,可将其放置印刷电路板上,避免了信号传输过程中的外界电磁干扰。

图 5 所示为直流电压供电条件下合闸时脱扣线圈电流的典型波形,电流信号已调理成电压信号。图 5 中 T_0 为合闸命令到达时刻, T_1 是线圈中电流上升

到足以使铁心运动的时刻, T_2 代表铁心运动停止时刻, T_3 代表辅助触点切断的时刻。 $T_0 \sim T_1$ 这段时间反映了控制电源电压和线圈特性的变化, $T_1 \sim T_2$ 反映了电磁铁心运动是否有卡滞、变形、脱扣失灵等故障, $T_0 \sim T_3$ 可以反映整个电磁铁的运动情况。电流波形中 I_1 可以反映控制电源电压的相对大小, I_2 反映电磁铁心的最大运动速度。由以上参数的变化可以诊断出断路器因控制电源电压和线圈失效而引起的拒分、拒合等故障的趋势^[7,8]。

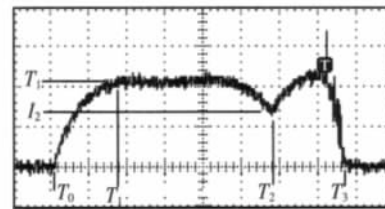


图 5 合闸线圈电流波形

机械振动信号包含有大量的设备状态信息,它由一系列的瞬态波形构成,每一个瞬态波形都是断路器操作期间内部“事件”的反映。该系统采用 LC0409A 压电加速度传感器,其频率范围为 0~16 kHz,幅值线性 5 000 g。3 个传感器分别安装在三相操动连杆的触头弹簧末端。典型合闸振动波形见图 6。由于振动信号比较嘈杂,对振动信号的处理是就成了检测的关键。应用了一种基于能量累加思想的分析方法——STE (Short Time Energy, 即短时能量,见图 7)分析法和小波包等处理方法,以获得分合闸同期性和弹跳等信息。

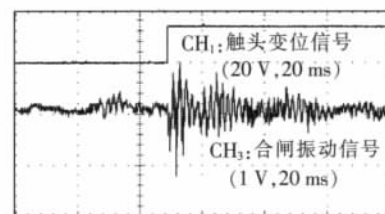


图 6 合闸振动波形图

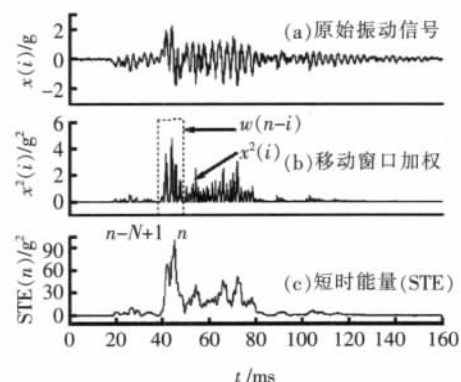


图 7 短时能量计算过程

3 绝缘状态监测

表征绝缘特性的有很多参量,比如介质损耗角正切、局部放电、泄漏电流等。在实施绝缘特性检测时需要根据具体的检测对象而选择合适的检测参量。在对

历年高压开关运行故障资料及厂方提供的绝缘部位故障统计报告,以及对可能发生的绝缘故障加以理论分析的基础上,确定绝缘特性检测对象为母线室环氧套管的泄漏电流和局部放电。

到目前为止,国内外在110 kV以下的开关上尚未实施局部放电在线检测。局部放电检测需要高速的数据采集板,这将大大增加硬件的成本。在中低压领域的开关柜上实施局部放电检测,硬件成本是主要制约因素,增加局部放电检测单元将大大提高设备的生产成本,降低利润,是一种不经济的实施方案,且不如检测泄漏电流简便准确,因此对于中压开关柜,确定绝缘特性检测对象为母线室环氧套管的泄漏电流^[9]。

该系统采用的泄漏电流传感系统见图8,信号提取采用一种接触式引流环结构,引流环采用宽为5 mm、厚度约为1 mm的进口导电胶涂制而成,引流环在绝缘子上起到收集泄漏电流的作用。试验表明,引流环的引入并未影响套管的绝缘状况。虽然引流环安装在绝缘套管的近地端,但有一定电压,因此,在其后端使用小电流互感器实现高低电位的进一步隔离,从而可以保证整个检测系统的安全性和可靠性。

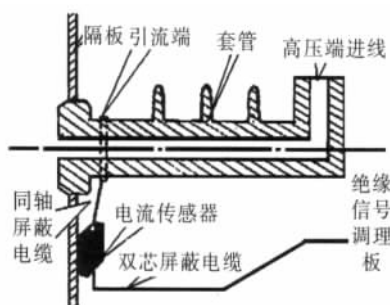


图8 泄漏电流传感系统示意图

绝缘泄漏电流是一种非常微弱的信号(微安级),能否准确检测的关键是微弱信号放大和抗干扰的问题。在信号的传输中,采用屏蔽效果良好的双芯屏蔽线,以减小干扰。微弱电流信号经精密采样和两级放大,然后经过两级隔直滤波电路,再调整到与DSP的A/D匹配的电平,最后经隔离运放隔离后进入DSP的A/D。

为了确定绝缘泄漏电流检测的故障判断依据,用试验方法对现场运行的12 kV开关柜环氧套管的表面污秽状况进行了模拟。选取两个环氧套管设置4种不同的污秽程度进行试验,分别为绝缘套管表面处于无灰尘和水分的清洁状态(I级)、套管表面有低盐密的水分(II级)、套管表面有中等程度的盐密污秽(III级)、严重的污秽(IV级)。在每种污秽程度下,分别对套管施加7、12、20 kV电压记录泄漏电流测量值,然后继续升高电压直至出现火花放电,记录此时的电压和泄漏电流值,试验结果见表1、2。

由表1、2可知,在清洁状态下套管表面的泄漏电流非常小,在潮湿和污秽情况下,套管表面的绝

表1 套管1 泄漏电流实测值 μA

	7 kV	12 kV	20 kV	火花放电
I	7.40	9.00	20.0	38.7(39 kV)
II	8.42	13.5	22.2	40.0(37 kV)
III	16.1	23.2	37.3	58.7(30 kV)
IV	23.1	40.2	64.1	80.5(27 kV)

表2 套管2 泄漏电流实测值 μA

	7 kV	12 kV	20 kV	火花放电
I	7.28	8.50	16.0	35.1(40 kV)
II	8.25	13.1	21.8	40.3(37 kV)
III	13.6	22.9	38.1	61.0(30 kV)
IV	24.2	42.6	68.7	90.0(26 kV)

缘状况会明显劣化,泄漏电流大幅增加。在单相接地且套管上有严重污秽的情况下,套管泄漏电流约为40 μA 。根据这些试验结果,可以设定12 kV断路器在线监测系统的一级绝缘劣化阈值为50 μA (此阈值考虑了大电流引起的电磁干扰,留有10 μA 裕量),超过这个阈值提供报警功能。如果泄漏电流值明显超过50 μA ,说明环氧绝缘套管绝缘性能有失效的危险,电器设备必须立即停电检修。可以设定二级绝缘劣化报警阈值为100 μA ,既考虑了实验结果,也留有足够裕量以防止因电磁干扰导致系统误动作。

4 结语

基于中压开关柜在线监测系统介绍了载流母线温度检测技术、机械状态(触头行程和速度、二次脱扣线圈电流和振动信号)检测技术、套管泄漏电流检测技术。这些技术具有较强的实用性和通用性,并具有较高的成本。试验表明,上述技术能够满足中压开关柜在线监测的要求,并经受住了EMC试验的考验。

参考文献:

- [1] 杜彦明, 顾露鸿. 中国电力系统配电开关设备现状及事故情况[J]. 高压电器, 2001, 37(3): 1-5.
- [2] 王小华, 杨武, 荣命哲, 等. 高压电力设备用数字式红外测温传感器的研制[J]. 高压电器, 2002, 38(2): 19-21.
- [3] 沈建华, 杨艳琴, 翟晓曙. MSP430系列16位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [4] 王小华, 荣命哲, 徐铁军, 等. 中压开关柜在线监测系统硬件抗电磁干扰技术研究[J]. 高压电器, 2007, 43(5): 321-324.
- [5] 杨武, 荣命哲, 王小华, 等. 考虑电动力效应的高压断路器器动力学特性仿真分析[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(5): 103-107.
- [6] 孟永鹏, 贾申利, 荣命哲. 真空断路器机械特性的在线监测方法[J]. 高压电器, 2006, 42(1): 31-34.
- [7] MLADEN K, REN Z F, GORAN L, et al. Automated Monitoring and Analysis of Circuit Breaker Operation [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2005, 20(3): 1910-1918.
- [8] STEPHEN B, STRACHAN S M, MCARTHUR S D J, et al. Design of Trip Current Monitoring System for Circuit Breaker Condition Assessment [J]. IET Generation, Transmission, Distribution, 2007, 1(1): 89-95.
- [9] 陈玉. 基于虚拟仪器技术的变电站电力设备外绝缘综合状态监测技术研究[D]. 西安: 西安交通大学, 2003.