

电力变压器局部放电在线监测技术介绍

鲍利军

(云南送变电工程公司, 昆明 650216)

Introduction to the On-line Transformer PD Detection Technology

BAO Li-jun

(Yunnan Power Transmission & Transformation Engineering Corp., Kunming 650216, China)

Abstract: It's great significance for transformer condition-based maintenance to develop transformer on-line PD detection. The methods of on-line PD detection, the localization of the transformer PD position and anti-disturbance in the measuring process are introduced.

Key words: transformer; partial discharge; on-line detection

摘要: 变压器局部放电在线监测技术对变压器状态检修具有重要意义。本文围绕变压器局部放电监测的几种监测方法、变压器内部局部放电位置的定位以及监测过程中的抗干扰等方面简介了变压器局部放电在线监测技术。

关键词: 变压器; 局部放电; 在线监测技术

长期运行的变压器, 变压器油在高温情况下逐渐分解出气体, 气隙首先被击穿形成放电, 在外施交流高压作用下, 变压器油中也出现了放电, 加速变压器油质老化, 更促使了局部放电的恶化^[1]。另外, 变压器的铁心绝缘不良也可能导致放电, 在故障较严重时还会导致铁心两点接地, 甚至出现工频短路电流, 局部放电最能有效反映变压器内部的绝缘状况。因此, 对变压器局部放电实时在线监测并及时报警, 对保障变压器稳定运行具有重要意义。

1 变压器局部放电在线监测方法

变压器局部放电在线监测方法主要有5种。

(1) 脉冲电流法。脉冲电流法是研究变压器局部放电在线监测技术最早、应用最广泛的监测方法。当变压器内部出现局部放电时, 产生的高频脉冲电

流可利用罗可夫斯基线圈检测变压器中性点、外壳接地电缆处的脉冲电流, 或用监测器捕获变压器高压套管接头连接处的脉冲电流, 以此判断变压器内部是否发生局部放电。

(2) 超声波检测法。当变压器内部发生局部放电时, 不仅产生电脉冲信号, 同时还产生超声波信号, 可通过同时产生的超声波信号和电信号判断变压器内部的绝缘状况。超声传感器的频带约为70~150 kHz (或300 kHz), 以避免铁心的铁磁噪声和变压器的机械振动噪声。

当变压器内部发生局部放电时, 固定在变压器外壳的超声传感器采集到超声波信号, 通过电一声传感器将声波信号转化为电信号, 连同局部放电时产生的电信号一同送到监测系统。其中现场控制与预处理单元主要完成对超声信号和电信号的收集, 并将超声信号转换为电信号后, 并放大处理。

(3) 射频检测法。利用传感器监测变压器中性点处或传感器直接在变压器内部截取变压器局部放电辐射产生的电磁波信号, 截取频率可达到30 MHz, 常用的传感器主要有罗可夫斯基线圈、电容器传感器和射频传感器。相对于超声波法, 射频检测法大大提高了测量频率, 而且不受变压器运行方式改变的影响, 但对于三相分体电力变压器来说, 得到的射频信号是三相局部放电信号的总和, 无法进行分辨, 且脉冲电磁波信号在传递过程中易衰减损耗, 特别是在变压器中性点处截取的电磁波信号衰减很快, 得到的频率分量很低, 而放在变压器内部传感器截取的局部放电产生的电磁波衰减相对较少。

(4) 光测法。在变压器油中, 放电产生脉冲电流的同时伴生发光、发热现象。光测法是利用光电

探测器监测局部放电产生的光辐射信号,将截取的光辐射信号转化为电信号经放大处理送到监测系统。通常放电产生的光辐射信号波长在 500~700 nm 之间^[4]。光测法不受强电磁环境的干扰,但测量设备复杂昂贵,测量灵敏度较低。

(5) 化学法。化学法通过分析变压器油分解产生的各种气体的组成和浓度来确定故障(局部放电、过热等)状态,例如当变压器内部局部放电时,变压器油分解的特征气体成分主要是 H_2 、 CH_4 、 C_2H_2 、 CO ^[5]。化学法检测变压器内部局部放电的缺点:一、油气分离时间较长,很难发现突发性的局部放电;二、化学法只能定性的分析变压器内部局部放电,无法对放电位置进行定位。

2 变压器内部局部放电的定位

局部放电定位技术主要有 3 种。

超声定位法将多个超声波传感器安装在变压器油箱外壳,当变压器内部发生局部放电,传感器能检测到放电时产生的超声波信号。布置在变压器油箱外壳不同位置的超声波传感器由于空间位置不同,检测到局部放电产生的超声波信号时间不同,可通过测量超声波的大小及超声波传播的时延,即可确定局部放电源的空间位置。

电一声联合定位法主要在电一声联合检测法的基础上利用超声波在变压器油和箱壁中的传播速度远低于电信号传播速度这一特点,当变压器内部发生局部放电时,速度较快的电信号先触发监测器,监测器再根据随后超声信号到达的时差大小,推测变压器内部局部放电的位置。

电气定位法是假定变压器的等值电路在某特定频率范围内是纯容性电路,而对于具体的变压器,这容性电路是可计算的,当变压器内部发生局部放电时,其首末端电压比值与放电点位置满足特定的函数关系^[6],测量变压器绕组首末端电压,可判断出放电位置。

3 局部放电的干扰和抗干扰方法

运行在变电站和发电厂环境的大型电力变压器受到的电磁干扰按时域信号的特征可分为连续的周期型干扰、脉冲型干扰和白噪 3 类。电力系统中的高次谐波、高频保护、载波通信以及无线电通信等产生周期型干扰。高压线路上电晕、分接开关动作、

电焊机和电动机电刷引起的电弧等产生随机脉冲性干扰;可控硅动作(直流电源整流和调相机励磁整流)以及地网中的脉冲干扰属于周期脉冲型干扰。而绕组热噪声、地网噪声、配电线路以及变压器、继电保护信号线路中由于耦合进入的各种随机噪声属于白噪。这些电磁干扰信号与局部放电信号的特征相似,有时甚至比局部放电信号强很多,影响了局部放电监测的准确性,所以要从背景干扰中获得准确的局部放电信号,必须采取有效的措施抑制干扰,这也是变压器局部放电在线监测技术的关键。

(1) 脉冲极性法^[7]和差动平衡法。脉冲极性法利用脉冲鉴别电路,使出现的局部放电高频脉冲电流在不同的检测阻抗上产生相反的极性,而外来的干扰信号则在其上产生相同的极性。然后依靠电子门控开关对取得的信号进行极性鉴别:两信号同向时为外部干扰,极性鉴别电路不输出;两信号相反时为内部局部放电,极性鉴别电路输出局部放电信号。差动平衡法是外部电晕放电、电弧放电在变压器油箱接地线和中性点接地线上产生的脉冲电流方向相同,而内部局部放电在变压器油箱接地线和中性点接地线上产生的脉冲电流方向相反。放电信号被传感器经前置放大器调幅后送到差动放大器,同向的放电信号相互抵销,而反向的内部局部放电信号却得到了放大,从而抑制了干扰。

(2) 复小波分析法。目前国内外还广泛利用小波分析技术来抑制局部放电信号中的周期性干扰、随机性干扰,并提取局部放电信号及信号特征。小波分析技术又分为实小波分析技术和复小波分析技术。实小波技术在分析过程中只产生实系数,分析实小波分量的幅值角度信息。由于局部放电信号与周期性干扰和白噪干扰实小波分解的幅频特性不同,与脉冲型干扰分解的幅频特性相似,故实小波只适合去除周期性干扰和白噪干扰,无法去除脉冲型干扰。而复小波在小波分析中能产生虚部系数,可提取原信号的相位,能提供变换系数的幅值与相位的综合信息来抑制干扰,比实小波能更好地消除局部放电在线监测中的电磁干扰^[8]。

(3) 其他。由于干扰信号还可能通过空间耦合、地线、电源等途径进入测量系统,可以通过增强屏蔽、电源滤波、单独接地等方法将这类干扰抑制到足够小的水平,同时采用高性能传感器,例如坡莫合金或铁氧体磁芯的电流电压转换型传感器^[9]可以

将传感信号与一次侧有效隔离, 这也能起到抑制干扰信号的作用。

4 变压器局部放电在线监测技术发展状况

目前, 世界各国都积极投入研究, 探索新的方法以使变压器局部放电监测技术更精确、抗干扰能力更强。

(1) 西门子^[10]利用超声波和电磁波在介质中的传播速度不一致性, 使用一个能同时检测射频信号和超声波信号的复合传感器测量两种信号到达传感器的时间间隔。只要局部放电点和传感器的位置不变, 这个时间间隔也不变, 在以时间间隔为横轴、以射频脉冲数值为纵轴的直方图上, 时间间隔就成为一个峰值, 而噪声干扰则平铺在横轴上, 这样就能在电晕干扰的背景中分辨出局部放电来源^[11]。

(2) 法国研究人员发现屏蔽对超声波信号的衰减作用很大, 而对于射频信号中的 UHF 波段没有影响, 传感器能检测到 10 pC 以下的局部放电。同时射频电磁波信号和电脉冲在传播速度上是一个数量级, 远远大于超声波的传播速度, 可以替代电脉冲作为局部放电产出的时间基准^[12]。

(3) 西安交通大学的王国利等人基于光测法原理研究光纤技术在变压器局部放电在线监测中的应用^[13], 发现光纤传感器具有优于其他类型传感器的许多特点。例如, 光纤传感器在传输信号过程中抗电磁干扰性能好, 特别适合电力强磁场环境中使用。光纤导光性能好, 传输频带高, 损耗低, 可基本实现信号的无损耗传输。同时光纤传感器还具有绝缘性能好, 细而柔软, 可以做成非常小巧的传感器, 放置在小孔和缝隙中工作, 用来测量某些特殊对象、场合的参数。

(4) 美国 Cutler-Hammer 公司, 开发了 InsulGard G2 产品, 德国的 LEMKE DIAGNOSTICS 公司, 也相继开发了 LDWD-6(老产品)和 PD-Guard 产品, 美国的 GE 公司开发的 T-MAPTM 3100 变压器监测与诊断系统, 不仅能分析变压器内部局部放电、油中微水量, 还能同时检测变压器油中溶解气体的成分和含量, 具有很好的现场实用性。

参考文献:

[1] 成永红. 电力设备绝缘检测与诊断[M]. 北京:中国电力出版社, 2001.

- [2] 肖登明. 电力设备在线监测与故障诊断[M]. 上海:上海交通大学出版社, 2005.
- [3] 罗日成, 李卫国, 熊浩, 等. 电力变压器局部放电再线监测系统的研制[J]. 电网技术, 2004, 28(16): 12-16.
LUO Ri-cheng, LI Wei-guo, XIONG Hao, et al. Development of On-Line Monitoring System for Partial Discharge within Power Transformer[J]. Power System Technology, 2004, 28(16): 12-16.
- [4] WANG Guang-wu, ZHOU Wen-jun. Optical Character of Partial Discharge in Transformer Oil[C]//10th ISH, 1997.
- [5] 鲍利军. 电力变压器油中溶解气体在线监测技术[J]. 云南电力技术 2007, 35(3):55-57.
BAO Li-jun. The Online Monitoring Technique of Gas in the Oil of Electric Power Transformer[J]. Yunnan Power Technology, 2007, 35(3):55-57.
- [6] 史保壮, 周良才, 芮冬阳, 等. 变压器绝缘在线监测技术简介[J]. 广东电力, 1999, 12(2):45-49.
- [7] 邱建军. 在线监测变压器局部放电. 农村电气化[J]. 2007, 20(4):13-15.
- [8] 崔雪梅, 孙才新, 李剑, 等. 复小波提取强电磁干扰环境中的局部放电信号方法[J]. 重庆大学学报, 2003, 26(10):84-86.
CUI Xue-mei, SUN Cai-xin, LI Jian, et al. Study on the New Technology of Extracting PD in Strong Noise Environment with Complex Wavelet[J]. Journal of Chongqing University, 2003, 26(10):84-86.
- [9] 马卫平, 郝德智, 董旭柱, 等. 大型变压器局部放电在线监测系统研究[J]. 变压器, 2002, 39(z1):93-96.
MA Wei-ping, HAO De-zhi, DONG Xu-zhu, et al. Research on PD online Monitoring System of Large Transformer[J]. Transformer, 2002, 39(z1):93-96.
- [10] UNSWORTH J, TALLI D. Re-locatable transducer heads for remote Siemens on-line PD monitor for high voltage transformers[C]// Wuhan:Proceeding of the 1st international conference on insulation condition monitoring of electrical plant, 2000, 254-259.
- [11] 罗勇芬, 李彦明, 刘丽春, 等. 变压器局部放电的超声波和射频联合检测技术的现状和发展[J]. 变压器, 2003, 40(12): 28-31.
LUO Yong-fen, LI Yan-ming, LIU Li-chun, et al. Trend and Situation of Compound Detection Technique of Radio Frequency and Ultrasound for Transformer Partial Discharge[J]. Transformer, 2003, 40(12): 28-31.
- [12] RAJA FLORIBERT T. Comparative investigations on UHF and acoustic PD detection sensitivity in transformers[C] // Boston:Conference record of the 2002 IEEE international symposium on electrical insulation, 2002:150-153.
- [13] 王国利, 郝艳棒, 李彦明. 光纤技术在电力变压器绝缘监测中的应用[J]. 高压电器, 2001, 37(2):32-35.
WANG Guo-li, HAO Yan-bang, LI Yan-ming. Optical Fiber Technique and Its Application in Power Transformer Insulation-monitoring[J]. High Voltage Apparatus, 2001, 37(2):32-35.

收稿日期: 2008-01-24

作者简介:

鲍利军 (1976 -), 女, 工程师, 硕士, 主要从事电力系统自动化工作。E-mail:baoli_jun@163.com。

(本文责任编辑 李艳菁)