

智能化高压电器温升的在线监测

陈振生 (西安高压电器研究所 710077)

周晓威 (常州太平洋自动化技术有限公司)

摘要 叙述了高压开关柜、变压器等电器设备的温度参数的光学在线监测技术。在线监测在智能电器中占有重要的地位,在设计电器设备时,应将在线监测技术列入。

关键词 光微薄硅温度传感器 吸收型光纤温度传感器 分布式光纤温度传感系统

1 引言

现在电网容量迅速增长,运行电压也不断提高,这就要求高压电器设备少占空间,向小型化发展。70年代初诞生了全封闭电器(GIS),它将高压断路器、隔离开关、互感器等高压电器元件合理组合,装入金属封闭壳内,再充入SF₆气体,现已广泛用于高压和超高压领域。工农业发展和人民生活水平不断提高,除了需要电能成倍增长,也要求高的供电质量及可靠性。

为了提高供电可靠性,不但要求高压电器有高的质量,也要求其在运行时具有自诊断功能,以便管理人员及时发现故障前兆,提前采取防患措施,变“定期检修”为“按状态检修”。例如GIS在运行时,金属箱内部出现局部放电,导致联接处异常温升,在箱外无法及时发现,而使故障扩大,以致形成击穿而波及相邻电器元件,造成电网停电。高压断路器中的导电回路,在正常运行时,长期通过工作电流,产生的能量转变为热能,使电器材料温度升高但不会超出规定范围;在非正常运行时,会使电器材料温度升高且超出规定范围,从而使电器材料的机械强度、物理性能等下降,因此在国家标准中规定了不同电器材料的允许长期工作温度。在高压断路器的结构中,静触头、动触头是一对基本元件,在静、动触头接触时,它们之间有一个接触电阻,当电流流过触头时,由于接触电阻的存在要引起触头的发热,接触点的温度不能超过触头的材料熔点,否则会使两触头之间发生熔焊,在发生故障时无法很好地完成开断任务。

液压机构是220kV以上高压、超高压断路器中使用的主要操作机构,这种操作机构受温度的影响:当温度降低后,油的黏度增大,因而液压系统

的阻力系数也增大,致使合、分闸速度减小;反之,当温度升高后,合、分闸速度增大。因此对液压油温度的在线监测与控制是十分必要的。

综上所述,对电力系统中的智能电器设备温升的测量及在线监测,可以保证设备可靠运行及对用户可靠供电,大力开展智能电器温升的测量及在线监测研究是当务之急。

2 智能电器中关键部位温升在线监测

2.1 利用 Fabry - perot 槽进行温度在线监测

高压开关柜内母线联接处的接触电阻有一定要求,在出厂前用“回路电阻测试仪”离线测试,其原理是在母线联接处通过100A直流电流,测出其两端电压,即可求得接触电阻。开关柜出厂后,由于运输、安装、碰击等致使接触恶化,接触电阻增大,以及在插接处接触不良造成供电中断的事故常常发生。

文献[1]介绍了Fabry - perot光微薄硅温度传感器在线测温技术,该技术已在变电站设备的状态监测技术中应用。它是利用对温度敏感的Fabry - perot槽研制出的一种温度探头,其原理如图1所示。该装置是由一薄硅片构成,在它中段的顶部和底部蚀刻出矩形槽,然后在薄硅片顶粘贴一层玻璃,该玻璃的热膨胀系数与硅片的热膨胀系数不同。当该处温度变化时,因两种材料的热膨胀系数不同,在其内部产生内应力,内应力改变了槽的深度。用光纤将多色光送入照射Fabry - perot槽,反射出的调制光也经光纤送出,调制的输出信号是用光学干涉测量方法测量的。

调制多色光的主波长随Fabry - perot槽深度变化而改变。Fabry - perot槽深度变化是纳米数量级,因为温度的变化是连续的,槽深变化也是连续的,

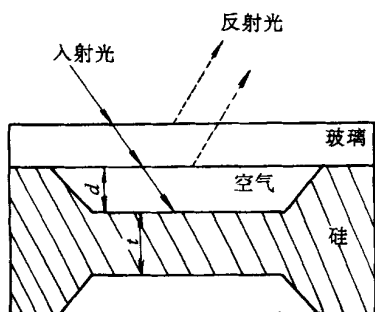


图 1 光微薄硅温度传感器

所以主波长是温度的连续函数，如图 2 所示。由 Fabry - perot 槽构成的光纤传感系统其组成元件耐腐蚀、小巧、测量灵敏度高，而且不受电磁干扰影响，在智能化高压电器的温度在线测量方面有广阔的市场。

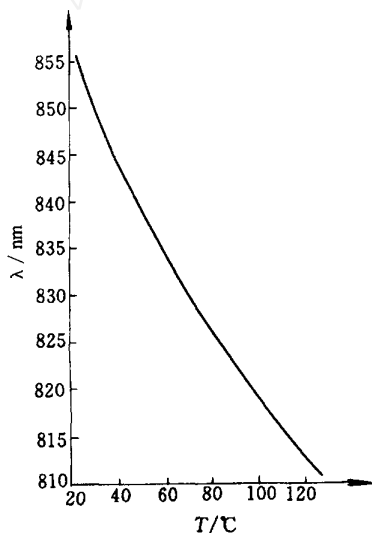


图 2 主波长 - 温度定标曲线

2.2 利用埋入温升部位的热敏电阻进行温度在线监测

热敏电阻具有体积小、温度响应快、产品成熟、成本低等优点。它可以封装在一个小型带有螺纹的金属外壳中，直接拧在靠近电气联接处的温升部位，用于 10kV 或 35kV 高压柜时可安装在断路器的静触头部位，然后用两根细小的高温导线引至信号变送装置。信号变送装置是由一个小型的电流互感器和一些电子线路组成。该装置可以固定在母线排上，当母线排通过一定的电流时，电流互感器的感应电流使电子线路得到工作所需的电源。电子线路的任务是将热敏电阻的阻值变化量转换成频率变

化量，通过驱动红外发光管发射至接收转换器。光的发射与接收可以通过光纤或空气介质来传播，这样即可实现高、低电压之间的电位隔离。用单片微处理机组成的接收装置可以将接收到的所有温度变换信息经计算还原成温度值，用数字的形式显示出来；也可以通过通信接口向系统上位机传输温度数据或超温报警信号。用这种方法实现的温升在线监测的优点是造价低、易于推广。

2.3 变压器绕组内温度在线监测

运行中的变压器，电流长期流过绕组，将引起绕组发热。如果材料选用不当或油流控制不适当，会导致绕组温升异常，影响变压器运行寿命，更严重的是造成内部绝缘降低，形成内部闪络，使变压器无法工作，危及电力系统供电。

这里介绍利用吸收型光纤温度传感器测温技术。光线通过砷化镓晶体后，其光强按指数衰减

$$I_f = I_0 e^{-\alpha d}$$

式中 d ——砷化镓晶体厚度
 α ——光吸收系数

当砷化镓晶体材料、几何尺寸确定后， α 系数是一定的，利用这一特点可完成温度测量。当砷化镓激光器发出的激光经过光纤送到 GaAs 晶片组成的光纤探头时，因为砷化镓晶片的光谱吸收随温度变化而变化，所以温度变化信号调制了透射光强，最后由测得的光强确定温度。图 3 是吸收型光纤温度传感器应用图。由 GaAs 发出光脉冲经分光器后分为两路，一路直接进入光电转换器转换成电压信号 U_R (用作参考电压)，另一路进入砷化镓温度传感器 S 后又反射至分光器，再进入光电转换 PDS 转换成电压信号 U_S ，分别经 A/D 转换器送入微处理机，所在点温度为

$$T = f \left(\frac{U_S}{U_R} \right)$$

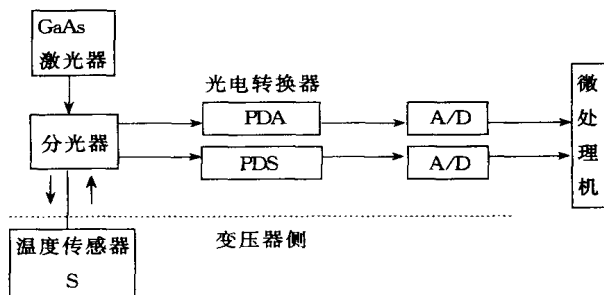


图 3 吸收型光纤温度传感器的应用图

可以将上面介绍的温度传感器埋入要测量的部位，如变压器线圈内，通过光纤可在测量室获得被测部位的温度信息，需要进行多点测量时，则需要多点埋置温度传感器。

据报道，这项技术已在变电站设备的状态监测中应用。

3 变压器绕组及 XLPE 电缆的温度分布在线测量

前面介绍的测温方法可以完成少数几个点的温度在线监测，增加测温点，则要增加埋置传感器及传输信号的光纤，这种方法难于实现变压器绕组、XLPE 电缆中温度分布的在线监测。

分布型光纤传感系统 (Distributed optical fiber transducer system) 集光学时域反射技术、非线性光谱技术、光纤传感技术、弱信号检测、计算机处理技术于一体，具体对光纤沿线几千米内各点的温度连续实时测量，定位精度可达米的数量级，测量精度可达 1%，所以非常适合于大型变压器绕组、高压电力电缆、大型发电机定子绕组的温度分布在线测量。

这一方法基本原理是将具有一定能量和宽度的激光脉冲耦合到光纤，它在光纤中传输，同时不断产生背向喇曼信号，因背向散射光状态受到各点物理、化学效应调制，将散射回来的光波经检测器解调后，送入信号处理系统，便可获得各点温度信息，并且由光纤中光波的传输速度和背向光回波的时间对这些信息定位。这根光纤长达数千米，可埋入变压器绕组及 XLPE 电缆内。

图 4 是分布型光纤测温原理图。从光纤一端入射的光，在光纤的各部分中散射，将反射到入射端的光 (背向散射光) 变为电信号，再换算成温度。由于光在光纤中的传播速度是已知的，所以知道了从入射至接收到散射回来的光所花费的时间，就可以知道所接收的背向散射光是在什么地方反射回来的。

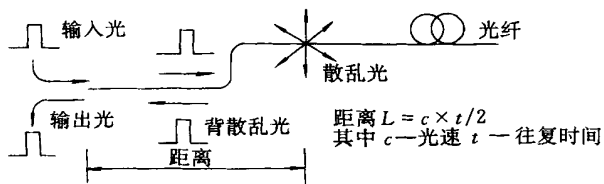


图 4 分布型光纤温度测量原理

背向散射光中有同入射光波长相同的光 (瑞利散射光) 和同入射光波长偏移 ± 的光 (喇曼散射光)。喇曼散射光又因波长不同而分为斯托克斯光和反斯托克斯光。喇曼散射光很弱，但它与温度有关，通过它们之间的关系，可以求出温度。

在日本，分布型光纤温度传感系统已广泛应用于地下电缆、高压架空电缆在线检测及过热报警、大小型变压器的整体温度检测及过热报警领域。

随着我国工、农业及电力系统的发展，对在线监测的要求提高，分布型光纤温度传感技术会得到广泛应用。

4 避雷器泄漏的在线监测

在线路上装设避雷器 (要满足避雷器与绝缘子串的绝缘配合要求)，可以防止绝缘子串的闪络事故，因此避雷器是电力系统的重要设备之一。氧化锌避雷器 (MOV) 具有通流容量大、保护性能好、结构简单等优点，在电力系统已获得广泛应用。

由于氧化锌长期承受工频电压，且有泄漏电流流过阀片，会引起老化。在泄漏电流中有容性泄漏电流和阻性泄漏电流，其中阻性泄漏电流会使阀片温度升高而发热，加速老化速度，严重的可使避雷器阀片失效。氧化锌避雷器内部受潮或阀片老化等缺陷，一般可通过停电试验检查出来，但是氧化锌阀片是非线性电阻元件，有的隐患无法在停电试验时查出。因此，对氧化锌避雷器进行带电在线监测，可以及时发现事故隐患，有效防止事故的发生。

LCD-4 型泄漏电流测试仪是日本计测制造厂研制的避雷器测试仪，可以带电在线测量避雷器的阻性泄漏电流、功耗及全电流，其原理如图 5 所示。

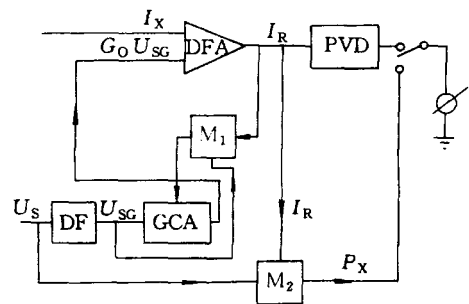


图 5 LCD-4 测试仪原理简图

DFA —— 差分放大器 M₁, M₂ —— 乘法器
 GCA —— 增益放大器 DF —— 差分移相器
 PVD —— 峰值电压测量回路

电流信号 I_X 取自电流互感器，电压信号取自电压互感器。峰值电压测量回路（PVD）输出阻性电流峰值 I_R ， I_R 与电压 U_S 的乘积为功耗 P_X ，送显示单元显示。该仪器可在现场对带电避雷器进行实测，湖北省电力试验研究所曾对现场测量数据进行整理、分析，发现每台氧化锌避雷器的阻性泄漏 - 温度曲线不是线性的，即随温度增高，变化率增大，在不同环境下曲线有差异。因此氧化锌避雷器现场带电测量无法做到绝对准确，但要求仪器操作简便、稳定可靠，能在恶劣环境下可靠运行。

由于避雷器全部泄漏电流中容性泄漏变化极小，所以可以通过全部泄漏电流的测量来监视避雷器阀片特性。常州太平洋自动化技术有限公司的 BLC-1 型避雷器泄漏电流在线监测仪就属于这一类。图 6 是由它组成的在线监测自动变送、报警系统。装置特点是避雷器回路的电流取样部分无需工作电源，即可变换成反映电流变化的光脉冲信号，经光纤传输隔离、微机数据处理后送控制室，当避

雷器绝缘性能降低、泄漏电流超过标准时及时报警。虽然利用该技术进行报警的灵敏度比测量阻性电流的灵敏度低，但对于现场在线监测已足够了。

5 结束语

在线监测单元的功能是采集电器设备运行时周围环境的大量信息（如温度、湿度、压力等）进行分析，实现最优控制；采集电器设备自身状态信息进行分析，判别本身是否处于正常，如有异常，及时报警。因此在线监测单元的任务是确保智能电器本身可靠运行，使运行人员更合理地确定检修周期。

对于大型变压器、GIS 组合电器，在线监测技术显得更为重要，因为大型变压器、GIS 组合电器检修费用昂贵，延长检修周期可节省大量费用。

中压设备本身的费用要比高压设备（如大型变压器、GIS 等）低很多，估计在中压领域内的在线监视和诊断系统功能只限于某些特殊功能，不会增加很多费用。未来，在线监视和诊断系统将日益增多地装入高压、中压电器设备中。

参考文献

- 1 Dlaus D W et al. The evolution of transmission and distribution network operation practice and its effects on switcher requirements (CIGRE SC-13). 1998
- 2 郑劲, 彭晓莺. LCD-4 型检测仪带电测试氧化锌避雷器的误差分析及检测效果. 电瓷避雷器, 1995 (6)

收稿日期: 2001-12-25

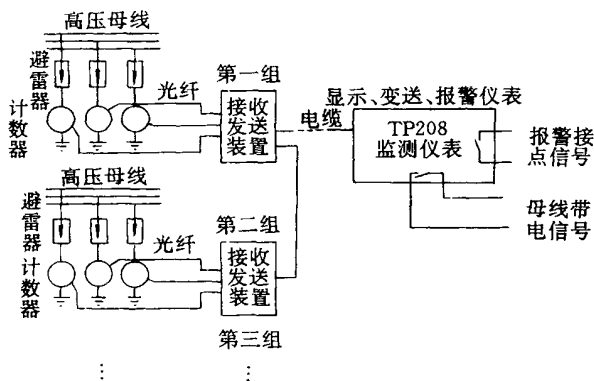


图 6 由 BLC-1 组成的在线监测自动变送、报警系统

(上接第 12 页)

- 5 李红斌. 光学电流互感器传感头的研究. 光学学报, 1997 (7)

Research on Combined Electronic Current and Voltage Transducers

Duan Xiongying

(Dalian University of Technology)

Abstract In this paper, the principle and technique of electronic

TA and TV are introduced, and the design of a new type combined electronic current and voltage transducers are given. A Rogowski coil and a capacitive voltage divider are used as current sensor and voltage sensor respectively in the design and optic fibers are used to transmit signal. Active signal modulation and signal processing technology are used too. Part experimental results of the prototype of ETA and ETV are also given.

Key words ETA ETV Rogowski coil

收稿日期: 2002-01-07