

文章编号:1004-289X(2003)04-0019-06

智能电器温升的测量及在线监测

陈振生¹, 周晓威²

(1. 西安高压电器研究所, 西安 710077; 2. 常州太平洋自动化技术有限公司, 江苏 常州 273022)

摘要:在线监测在智能电器中占有重要的地位, 本文叙述了高压开关柜、变压器等电器设备的温度参数的光学在线检测技术。光学传感器在在线检测技术中举足轻重; 在设计电器设备时, 应将在线监测技术列入。

关键词:高压开关柜; 变压器; 避雷器; 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; 泄漏

中图分类号: TM835.4

文献标识码: B

Measure of Intelligent Electric Apparatus Temperature Rise and Its On-line Monitoring

CHEN Zhen-sheng¹, ZHOU Xia-wei²

(1. Xi'an High Voltage Electrical Apparatus Research Institute, Xi'an 710077, China; 2. The Pacific Automation Technology Co., Ltd. of Changzhou, Jiangsu 273002, China)

Abstract: On-line monitoring has important status in the intelligent electric apparatus. The paper describes optics on-line measuring technology of temperature parameters of electric apparatus like high voltage switch cabinet and transformers. The optical sensor plays a decisive role in the on-line measuring technology. When designing electric equipment, on-line measuring technology should be listed.

Key words: high voltage cabinet; transformer; arrester; optical meagre silicon temperature transmitter; absorbent-type optical fibre temperature transmitter; distributed optical fiber transducer system; leakage

1 概要

现在电网容量迅速增长, 电网运行电压也不断提高, 国外输变电设备电压已达 1000kV。我国从 80 年代开始进入大电网时期, 输变电设备电压已达 500kV。最近开始西北地区黄河上游水电深度开发, 国家电力公司已批准第一条 750kV 输电线路。电网发展要求高压电器设备少占空间、小型化; 从 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; GIS 全封闭组合电器已广泛用于高压和超高压领域。工农业发展, 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高的供电可靠性, 不容许经常停电。

为了提高供电可靠性, 减少停电时间, 不但要求高

压电器产品有高的质量, 也要求设备在运行时, 具有自诊断功能, 检测它的状态, 让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, 金属箱内部出现如局部放电, 导体联接处异常温升, 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。

温度是一个基本的物理量, 自然界中的一切过程都与温度有关, 许多设备的故障是由异常温升而造成。高压断路器中正常的导电回路, 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不会超出规定范围, 但导电回路不正常时, 会使电器材料温度升高超出规定范围, 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、动触头是一个基本元件,在静触头和动触头接触时,它们之间有一个接触电阻,当电流流过触头时,接触电阻的存在,要引起触头的发热,如果接触点的温度超过规定值,则会加速动、静触头接触处氧化,氧化结果又导致接触电阻上升,这样又促使发热、温度增加,因此国家标准规定了接触电阻数值,在这个范围内,不会造成氧化。当短路电流流过接触点时,这时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产生熔焊,在故障电流时,无法很好完成开断任务。

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,这种操作机构是利用液压油传递能量,它将高压力的油注入工作缸,再推动活塞,使断路器完成合闸、分闸。很明显,这种操作机构受温度影响,当温度降低时,油的粘度增大,因而液压系统的阻力系数也增大,致使合、分闸速度减小;反之在同样结构下,当温度升高时,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。

因此,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,保证对用户可靠供电,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 高压开关在柜发热试验

对额定电压 3kV 及以上、频率 50Hz 长期工作电器,如断路器、隔离开关、封闭式组合电器、金属封闭开关设备、负荷开关等产品,必须进行发热试验,以保证在长期通过额定工作电流下,电器各部的温度不超过标准允许的数值。试验按“GB763《交流高压电器在长期工作时的发热》”标准进行。试验内容是:

- 1) 主回路电阻测定;
- 2) 机械试验前的发热试验;
- 3) 主回路电阻测量;
- 4) 机械试验后的发热试验;
- 5) 主回路电阻测量。

进行发热试验,首先要确定试验部位。电器产品内部的能量损耗有三类:接触电阻损耗,导体电阻损耗和铁磁损耗。接触电阻损耗是由如动静触头接触、触指与触座接触、导体与导体接触的接触电阻引起的;导体电阻损耗是由导体固有电阻引起的;铁磁损耗是产品导电回路附近的铁件产生的涡流磁滞损耗。在过渡接触处不但有导体电阻损耗,还有接触电阻损耗,因此过渡接触处的发热量较大、温升也较高。

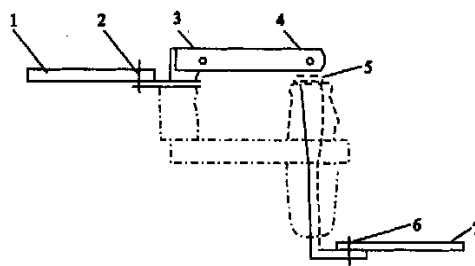


图1 CN19~10C 温升测量位置示意图

图1是 CN19~10C 隔离开关温升测量位置示意图,图中第1点和第7点是母线,第2、3、4、6点是接触处,第5点是铁制压圈。

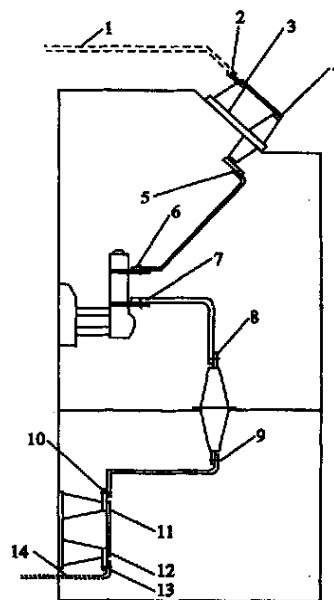


图2 GG-1A(F) 高压开关柜温升测量位置

图2是 GG-1A(F) II07D-10 高压开关柜温升测量位置示意图,图中:1、14 点母线,其余是接触处。

选用康铜—铜作热电偶,热电偶丝的直径为 0.5mm,为了避免受交变磁场影响,将康铜丝与铜丝紧密地绞合在一起。热电偶的热端用电弧焊牢,焊头成球状,焊头直径尺寸为 1.0mm 左右,制成的热电偶铜丝为正极,康铜为负极。在图 1、图 2 温升测量点,用直径 1.5mm~2mm 钻头钻孔,孔深约 1.5mm~2mm,热电偶焊头放入后,其根部略低于孔,然后用锡泊压紧,再用洋充铆紧,再用洋充铆紧。

试验进行到温升稳定时,试品上测量的各点温升应低于 GB763 标准规定允许值。这里顺便提一下,合、分线圈的温升测量。先将试品在试验室放置 4h 以上,再用电检分别测量合、分线圈的冷态电阻 R ,在额定操作电压下连续操作合、分闸 10 次,(操作间隔时间

不大于 2 秒),操作结束后的瞬间,分别测量合、分线圈的热态电阻。用下面公式计算温升值: $\tau = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \left(\frac{1}{\alpha} + \vartheta_1 \right) + \vartheta_1 - \vartheta_0$

式中: α : 0 °时线圈导线的电阻温度系数

ϑ_0 : 测量线圈热阻时的周围空气温度(°C)

ϑ_1 : 线圈冷态温度(°C)

R_1 : 温度 ϑ_1 时线圈电阻(Ω)

R_2 : ϑ_2 时线圈电阻(Ω)

3 智能电器中关键部位温升在线监测

3.1 利用 Fabry - perot 槽进行温度在线监测

高压开关柜内母线联结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,其原理是在母线联结处通过 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,接触电阻增加,特别如手车推入,在插接处接触不良造成事故,造成供电中断的事例经常发生。

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, Fabry - perot 槽温度探头原理图示于图 3,装置是由一薄硅片构成,在它的中段的中部和底部蚀刻出矩形槽,然后在薄硅片顶粘上一层玻璃,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,因二种材料不同的热膨胀系数,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 槽深度变化是毫微米数量级,因为温度的变化是连续的,槽深变化也是连续的,当然主波长是温度的连续函数(图 4)。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。

3.2 利用热敏电阻埋入温升部位进行温度在线监测

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,直接拧在靠近电气连接处的温升部位,用于

10kV 或 35kV 高压柜时可安装在断路器的触头部位,然后用细小的二根高温导线引至信号变换发送装置。信号变换发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频率的变化量,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介质或空气介质来传输,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,用数字形式显示出来;也可以通过通讯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。

3.3 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。如果材料选用不当及油流控制不适当等,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。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,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,最后由测得光强确定温度。图 5 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 V_R (用作参考电压),另一路时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 V_S ,分别经 A/D 转换器送微处理机,所在点温度为:

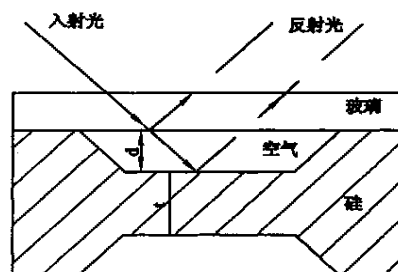


图 3 光微薄硅温度传感器

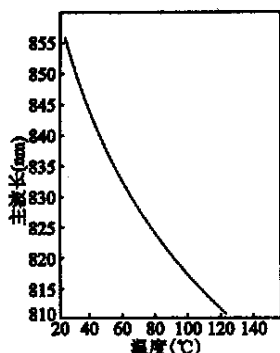


图4 主波长—温度定标曲线

$$T = f\left(\frac{V_s}{V_R}\right)$$

可以将上面介绍的温度传感埋入要测量的部位,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,需要进行许多点测量时,则需要许多点埋置温度传感器。

据报道,这种技术也在变电站设备的状态监测技术中应用。

4 变压器绕组及 XLPE 电缆的温度分布在线测量

在前面几节中介绍的测温方法可以完成少数几个点温度在线监测,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,具有对光纤沿线几公里内各点的温度连续实时测量,定位精度可达米的数量级,测温精度可达 1 度,所以非常适合于大型变压器组、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。这根光纤可数公里长,光纤可埋入变压器绕组内及 XLPE 电缆内。

图 6 是分布型光纤测温原理图。从光纤一端入射的光,在光纤的各部中散射,将反射到入射端的光(此光叫背向散射光)变为电信号,再换算成温度。如图 6

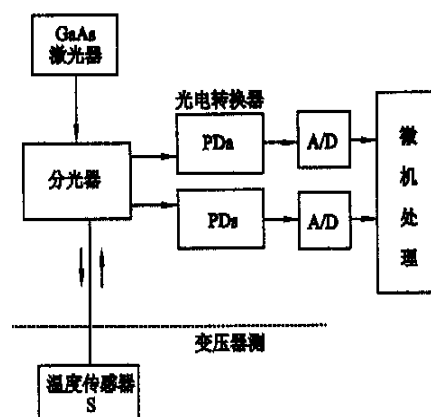


图5 吸收型光纤温度传感器的应用图

所示,来自光纤一端的脉冲入射光,向光纤的各个部分开始散射,一部分反射回入射端。由于光在光纤中传播速度是已知的,所以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。

背向散射光也示于图 6 中。其中有同入射光相同波长的光(称瑞利散乱光)和同入射光波长偏移 $\pm \Delta\lambda$ 的光(称为喇曼散乱光)。喇曼散乱光又因波长不同而分为斯托克斯光和反斯托克斯光。喇曼散乱光很弱,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以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。

图 7 是广州羊城科技实业(集团)有限公司开发的分布型光纤温度传感系统的结构,这种带有工业控制计算机和液晶显示的一体化测试系统的价格为 10 万元人民币左右,随着我国工、农业及电力系统等发展,对在线监测要求提高,分布型光纤温度传感技术会得到广泛应用。

5 避雷器泄漏的在线监测

据报道,有些地区架空输电线路发生的电器事故中,由雷电引起的占了一半左右,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,且长期有电流(泄漏)流过阀片,会引起绝缘老化。在泄漏电流中有容性

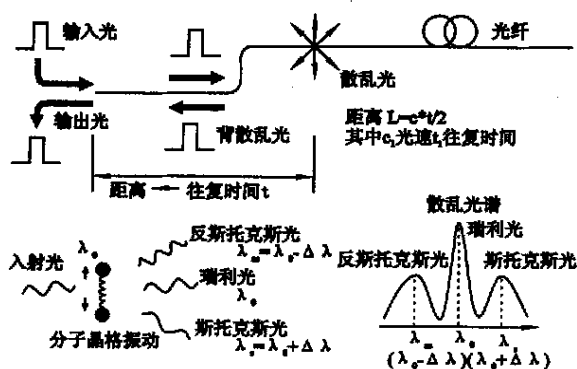


图6 分布型光纤温度测量原理

泄漏电流和阻性泄漏电流,其阻性泄漏电流会使阀片温度升高而发热,加速老化速度,严重的使避雷器阀片失效,全国已发生多起氧化锌避雷器爆炸事件。对氧化锌避雷器进行带电在线监测,可以及时发现氧化锌避雷器的隐患,有效防止氧化锌避雷器的事故。

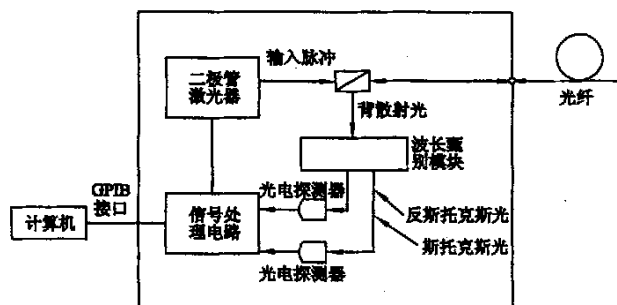


图7 广州羊城科技实业(集团)有限公司开发的分布型光纤温度传感系统的结构图

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,可以诊断氧化锌避雷器的特性,可以测量避雷器的阻性泄漏电流、功耗及全电流,可以带电在线测量氧化锌避雷器。LCD-4型泄漏电流测试仪原理如图8所示。

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)输出的阻性电流峰值 I_r 由显示单元显示。 I_r 与电压 E_s 的乘积得到功耗 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是无法做到绝对准确,实际上也没有此必要,但要求仪器操作简便、稳定可靠,能在干扰恶劣环境下可靠运行。

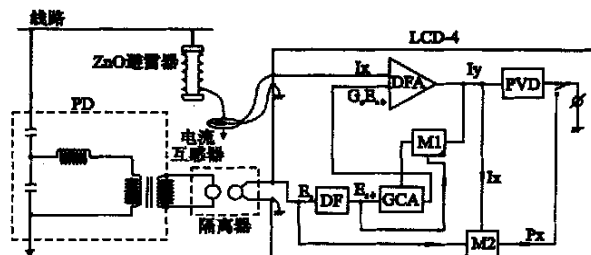


图8 LCD测试仪原理简图

图中:PVD为峰值电压测量回路

M1,M2为乘法器 GCA为增益放大器
DF为差分移相器 DFA为差分放大器

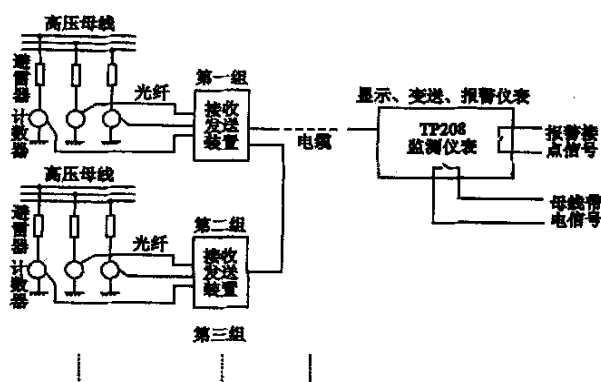


图9 由BLC-1组成的在线监测自动变送、报警系统

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9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。由于利用全部泄漏电流进行报警,其灵敏度比测量阻性电流的灵敏度低,但对使用于现场在线监测已足够。

6 几点看法

在线监测单元的任务是采集电器设备运行时周围环境大量信息(如温度、湿度、压力等),进行组织分析,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,发出告警。因此在线监测单元的任务是确保智能电器本身可靠运行,使运行人员更合理决定检修周期。

对于大型变压器、GIS组合电器在线监测技术显(下转第26页)

的情况较多,可见合闸功率更大。如果真空开关配电操机构,则斜线 F_1 和 F_1' 因为没有 F_7 作用而分别下降一些,再加上 F_8 所组成的合成负载力曲线下的面积,就是它的合闸功率(图 2 中未画出电操的合成力曲线),总的来说合闸功率也加大了。如果按原来真空开关负载特性图(图 1)设计的操动机构,配在现在的真空开关上,参数值肯定偏低,达不到最佳配合的要求。这就是目前真空开关分合闸速度慢的主要原因之一。

3 解决问题的方法

通过上述的分析我们知道:影响真空开关与操动机构之间的最佳配合的原因是由于 F_6 、 F_7 、 F_8 的存在。找到原因后,我们可以从以下几方面入手,解决好这个配合问题。

首先,设计和生产系列化的操动机构。真空开关不象少油开关那样只有一个 SN10 定型产品,且 SN10 的输出功率也固定。真空开关在结构上是多样的,要想适应真空开关多样性的要求,又要达到操动机构的标准化,便于用户选用。操动机构在设计中尽可能设计几个级别的类型,最好是一种真空开关配一种操动机构。如果目前的国情、市场、通用性、标准化等因素不允许这样做的话,每种类型的操动机构,其机械强度

设计到某一阶段的最大寿命值,其余因素做成可调。各真空开关厂可根据自己开关的负载特性,选配某一型号的操动机构,以变应变,这样才能适应国内市场的要求。

其次,优化整个系统包括真空开关和操动机构的结构,提高传动效率,尽可能减少损耗。比如各厂的真空开关主轴输出转角、拐臂半径是不同的,操动机构的输出转角、拐臂半径也是有差异的,与真空开关的配合上,是增力还是减力,是放大还是缩小,对机构的合闸功率影响很大。换句话说,操动机构的设计要考虑不同真空开关的主轴输出转角、拐臂长度和传力大小;真空开关的结构设计也要考虑所配操动机构的输出转角、拐臂长度、传力等等。如果将来时机成熟,还可以综合各家所长,搞几个联合设计,那时真空开关的使用性能将更加优化。

第三,研制与生产不重燃的真空灭弧室,取消油缓冲器,减少油缓冲弹簧力对真空开关的影响。

以上仅为个人的一点浅见,不妥之处还望各位专家批评指正。

收稿日期:2003 - 06 - 12

(上接第 23 页)

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。

应该说开发在线监测单元难度很大:

1. 可选用传感器品种较少。因为被监测单元大部分处于高电位,需要具有电位隔离、抗电磁干扰、尺寸小,便于安装的各种性能的光纤微电子传感器。国外已开发出许多适于电器设备在线监测的光纤微电子传感器,而国内基本上是空白。光纤微电子传感器在电器领域潜在市场很大,已开始引起这方面的企业家重视。

2. 高性能微电子器材价格昂贵。监测单元工作环境恶劣(如户外环境温度 $-40 \sim +60^\circ\text{C}$),采集数据量大,要求微电子功耗小,内存容量大,在宽的温度范围内能可靠工作。考虑到价格,目前国内使用的是普通微电子器件,当然无法保证监视单元长期可靠工作。

3. 难于行业协调。在一次单元设计时没有把安装在线监视单元列入一起考虑,这样有些在线测部件就

无法安装,或安装困难。

另外在线监测单元随一次设备推向市场时,用户往往看不到其重要性,而由于价格问题,不太喜欢使用。目前日新月异的科学技术,随着人民生活水平提高,而对用电质量要求越来越高,相信在线监测技术会迅速发展。

参考文献

- [1] D. W. DLAUS 等. The evolution of Transmission and Distribution Network operation practice and its effects of Switcher requirements [J] (CIGRE SC -13) 1998.
- [2] 广州市羊城科技实业有限公司.“分布式光纤温度传感系统”[Z].
- [3] 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”[Z]. 1995. 第 6 期:电瓷避雷器

收稿日期:2003 - 03 - 16