



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101949744 B

(45) 授权公告日 2012. 08. 08

(21) 申请号 201010273400. 1

(22) 申请日 2010. 09. 06

(73) 专利权人 国网电力科学研究院武汉南瑞有  
限责任公司

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞瑜路  
143 号

专利权人 国网电力科学研究院

(72) 发明人 程林 聂德鑫 关庆华 伍志荣  
周建华 邓建钢 刘诣 杜振波  
宋友 杨俊

(74) 专利代理机构 武汉帅丞知识产权代理有限  
公司 42220

代理人 朱必武 周瑾

(51) Int. Cl.

G01K 11/32(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 100494911 C, 2009. 06. 03,  
CN 101377441 A, 2009. 03. 04,  
CN 101241029 A, 2008. 08. 13,  
CN 2539146 Y, 2003. 03. 05,  
CN 201203489 Y, 2009. 03. 04,  
CN 2760526 Y, 2006. 02. 22,  
CN 1632485 A, 2005. 06. 29,

审查员 王蕾

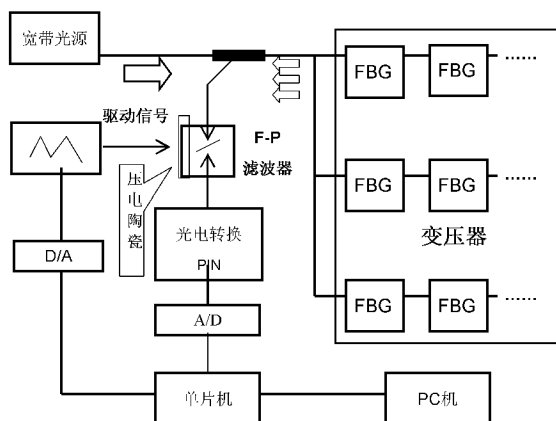
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种基于光纤光栅的变压器内部温度检测系统

(57) 摘要

本发明提供一种基于光纤光栅的变压器内部温度检测系统,包括:光源;光纤光栅传感器,设置在变压器的绕组和撑条及变压器内部其它位置的各个探测点上,用于变压器温度、应力、局部放电参数的传感测定;光栅信号解调系统,接收光纤光栅传感器的测定数据,并准确解调出温度、应力、局部放电等参数相应的光信号;信号处理显示仪表,对测得的信号进行温度补偿、应力去敏等校正处理,并将实时数据显示在仪表盘上;及数据分析软件,对处理后数据进行编程软件分析,得到实时变压器内部温度场及温度变化,以及在此基础上的变压器内部温度监测及全寿命评估。本发明通过光电传感器实现变压器内部多点温度的实时测量,对变压器经济运行提供良好的基础。



1. 一种基于光纤光栅的变压器内部温度检测系统,其特征在于,包括:

光源,采用输出功率较大、带宽较大的光源;

光纤光栅传感器,设置在变压器的绕组和撑条及变压器内部其它位置的各个探测点上,用于变压器温度、应力、局部放电参数的传感测定,光纤光栅传感器的封装方法包括电磁线,撑条和铁芯三种封装方法;

光栅信号解调系统,接收光纤光栅传感器的测定数据,并准确解调出温度、应力、局部放电参数相应的光信号;

信号处理及显示仪表,对测得的信号进行温度补偿、应力去敏校正处理,并将实时数据显示在仪表盘上,实现实时在线监测,得到实时变压器内部温度场及温度变化。

## 一种基于光纤光栅的变压器内部温度检测系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光纤光栅传感领域和变压器状态监控领域,具体涉及一种基于光纤光栅的变压器内部温度检测系统。

### 背景技术

[0002] 电力变压器作为现代电力系统中的重要设备,其绕组温度的高低直接关系到电力变压器的使用寿命以及输变电系统的运行安全,因此每个变电所都需要对变压器进行温度监测。变压器的绝缘性与老化率与绕组热点温度有关,超过温度的允许限值不但会降低变压器的运行寿命,还会对变压器的安全运行造成威胁。若绕组热点的温度过低,则变压器的能力就没有得到充分利用,降低了经济效益。变压器的温升限值以变压器的使用寿命(主要是绝缘材料的寿命)为基础。在相关的国家标准中对变压器在不同的负载运行情况下的温升限值或热点温度做了相应的规定。电力变压器国家标 GB1094. 2-1996《电力变压器第 2 部分温升》规定的电力变压器温升限值是根据不同的负载情况而定的。因此基于光纤光栅的变压器内部温度检测方法在电力系统智能电网改造中显得尤为关键,利用该系统准确地测量和在线监测绕组的热点温度具有重要的现实意义。

[0003] 目前国内外,对变压器绕组热点温度的测量方法主要有:

[0004] (1) 电信号传感器测量。目前大部分电厂和变电站还是采用基于电信号传感器的测温系统,如电阻温度计、热电偶,但这类电信号的传感器易受电磁干扰,测量效果不很理想。

[0005] (2) 光纤测温仪测量。在绕组靠近导线部分埋设光纤传感器来测温,常见的是荧光光纤测温仪。这种方法维护技术复杂,绝缘处理比较困难,价格也十分昂贵,而且光纤测温系统的扫描时间比较长。

[0006] (3) 红外温度传感器测量。该方法测温灵敏度和准确度很高,但红外测温为非接触测量,易受环境及周围的电磁场干扰,且需人工操作,无法实现在线测量。

[0007] (4) 分布式光纤温度传感器。通常是将光纤沿温度场分布,借助于光在传输时光时域后向散射技术,根据散射光所携带的温度信息来测量温度。由目前的研究成果来看,分布式光纤测温系统的测温误差一般为几个摄氏度,定位误差为一米左右,对于变压器内部温度的监测其定位误差显然较大。

[0008] 相比以上几种方法,光纤光栅测温对于光纤光栅传感系统,其具有以下明显的优点:①抗干扰能力强。②传感探头结构简单,尺寸小。③测量结果具有良好的重复性。④便于构成各种形式的光纤传感网络。⑤可用于对外界参量的绝对测量。⑥光栅的写入工艺已较成熟,便于形成规模生产。

### 发明内容

[0009] 本发明的目的是:利用一种可以对油浸式变压器、电抗器内部温度进行直接测量的光纤光栅传感技术,对变压器的内部绕组温度监测,得到变压器各种运行方式下的内部

温度分布,并对变压器内应力、局部放电等重要参量进行测量监控。

[0010] 本发明所采用的技术方案是:一种基于光纤光栅的变压器内部温度检测系统,其特征在于,包括:光源,采用输出功率较大、带宽较大的光源;光纤光栅传感器,设置在变压器的绕组和撑条及变压器内部其它位置的各个探测点上,用于变压器温度、应力、局部放电参数的传感测定,光纤光栅传感器的封装方法包括电磁线,撑条和铁芯三种封装方法;光栅信号解调系统,接收光纤光栅传感器的测定数据,并准确解调出温度、应力、局部放电等参数相应的光信号;信号处理及显示仪表,对测得的信号进行温度补偿、应力去敏等校正处理,并将实时数据显示在仪表盘上,实现实时在线监测,得到实时变压器内部温度场及温度变化。由此带来的技术效果至少是:本发明通过光电传感器实现变压器内部多点温度的实时测量,作为变压器设计的验证参照手段和运行中变压器工况的一种状态检测系统,能提高变压器本体的智能化水平,对变压器经济运行提供良好的基础。

[0011] 本发明的有益效果是:可以准确测量出变压器绕组各探测点温度,并对数据进行处理远程传输显示,并依据此还原变压器温度场;在测量温度参量的同时,还可以对应力变化、局部放电、油色谱等变压器内性能参数进行传感测量分析;最终实现带有高精度、可靠、实时在线的光纤光栅温度检测系统的所有电压等级的油浸式变压器、电抗器样机工程化应用。

#### 附图说明

[0012] 图1是本发明实施例的基于光纤光栅的变压器内部温度检测系统的原理框图。

[0013] 图2是本发明实施例的光纤光栅阵列设计原理示意图。

#### 具体实施方式

[0014] 以下结合附图和实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0015] 本发明系统工作原理如图1所示。利用的原理如下所述,宽带光源经布拉格光栅反射为窄带光,其反射波长决定于光栅周期,当外界温度变化或应变作用于光栅上时,光纤光栅周期和有效折射率发生变化,进而反射波长发生改变,解调仪将波长编码的传感信号转换为数字信号送入计算机进行运算处理。变压器工作一段时间以后,变压器绕组温度会升高,从而使贴在绕组上的光纤光栅的反射波长变化,与此同时,单片机提供给压电陶瓷锯齿波电压,改变F-P腔长,使通过F-P腔的波长发生变化,当F-P腔的透射波长与光纤光栅的反射波长相同,光电探测器输出最大值,这时记录下给压电陶瓷的扫描电压值,这个时刻的扫描电压和光纤光栅反射波长构成了一个数据对。根据波长与温度的关系,测出了波长变化量就能得到相应的温度变化量,这样也就能达到测温的目的。

[0016] 如图1所示,本发明提供一种基于光纤光栅的变压器内部温度检测系统,该系统包括:光源,采用输出功率较大、带宽较大的光源;光纤光栅传感器,设置在变压器的绕组和撑条及变压器内部其它位置的各个探测点上,用于变压器温度、应力、局部放电参数的传感测定;光栅信号解调系统,接收光纤光栅传感器的测定数据,并准确解调出温度、应力、局部放电等参数相应的光信号;信号处理显示仪表,对测得的信号进行温度补偿、应力去敏等校正处理,并将实时数据显示在仪表盘上,实现实时在线监测;及数据分析软件,对处理后数据进行编程软件分析,得到实时变压器内部温度场及温度变化,以及在此基础上的变压

器内部温度监测及全寿命评估。

[0017] 本发明系统中,光源是光纤光栅温度传感系统中的关键器件,其功能是把电信号转换为光信号,为温度的测量提供载体。由于光纤传感工作环境的特殊性,本系统对光源的出纤功率有严格要求,因为出纤功率直接影响到光电转换后接收到的信号的强度,如果信号强度太弱,将对后续的信号处理带来很大难度。而光源的带宽直接决定了测量范围和可以布置的传感器点的数量。

[0018] 本发明系统传感模块中,传感器在变压器的布置包括电磁线,撑条和铁芯三种封装方法。电磁线布置传感器的方法描述为:通过理论计算出需要测量的绕组温度变化点的具体位置,在电磁线表面开槽埋入光纤及其传感器制作成特制电磁线,包纸后应用于变压器中。在变压器的每一相的高压,中压和低压线圈中分别引入多根带有传感器的光纤以满足测量位置和点数的要求,在光纤两端出线部位焊接跳线并对光纤焊点进行涂敷保护。该方法可测得数据温度数据为变压器绕组的真实温度数据,且无电势跨度满足了电器特性要求,并通过特殊的封装技术以达到机械特性的要求。撑条中布置传感器的方法同样在撑条表面开槽把光纤及其传感器埋入槽中胶粘封装,再将特制撑条安装于变压器各相的线圈之间。该方法避免了光纤及传感器可能受到的横向剪切力和各种应力变化的影响,机械强度和测量精度得到了有力的保证。铁芯封装采用表面式封装将光纤及其传感器贴于铁芯表面。以上三种测量方案保证了绕组温度场的空间分布要求和测量点数及其精度,对绕组各点的温度均可进行实时在线监控。

[0019] 本发明系统中,数据采集和处理模块主要是完成信号的采集和处理,这一部分主要由 F - P 腔、光电探测器、A /D、D /A 和单片机组成。将光电探测器接收到的信号和对应的压电晶体的电压值全部存储,然后再将这些数据进行分析是这一模块的主要任务。该模块要求 A /D、D /A 的转换位数足以满足信号的要求。

[0020] 本发明系统集成成了光栅信号解调仪与现场监控模块,该系统适用与油浸式变压器和电抗器,并可作为配套变压器安装使用的仪表与控制系统。其中,软件处理部分包括信号的采集、分析、处理、校正与显示,还包括了变压器实时在线监测与状态控制、全寿命评估等功能。

[0021] 本发明的技术方法是,采用光纤光栅传感技术进行温度传感,传感信号采用调谐 F-P 滤波器法进行解调,绕组温度探测应用多种传感器布置方案。光纤光栅传感技术原理如下所述:

[0022] 光纤光栅的中心波长  $\lambda$  与有效折射率  $n$  和光栅周期  $\Lambda$  满足如下的关系:

$$[0023] \quad \lambda = 2n \Lambda \quad \text{式(1)}$$

[0024] 式(1)经过求导微分后得到光纤光栅传感公式:

$$[0025] \quad \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = (1 - p_e) \epsilon + (\alpha + \zeta) \Delta T \quad \text{式(2)}$$

[0026] 式(2)中的第一项表示光纤轴向应变所致的波长漂移,是由于光栅周期的改变和弹光效应引起的折射率改变而产生的,第二项表示温度所致的波长变化,是由于热膨胀引起的光栅周期和折射率的改变而产生的。经过温度补偿和应力去敏技术设计后可以得到变压器温度传感与波长漂移的关系式(3):

$$[0027] \quad \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = K_T \Delta T \quad \text{式(3)}$$

[0028] 其中,  $K_T$  是经过标定和参数校正后的常数。光纤光栅波长漂移与温度、应力分别呈线性关系,且满足线性叠加。光纤光栅传感器仅用于温度测量时,只需进行无应力封装即可克服一定应力带来的影响,实现温度的准确测量。

[0029] 本发明的传感器布置方法是,根据采用宽带光源的带宽和每个传感器实现预计功能所需要的带宽,计算出在变压器中一根光纤最多可以布置的传感器数量。本系统的峰值识别小于 0.2nm,即为了防止相邻中心波长的传感器信号串扰,需要在相邻的两个中心波长漂移范围之间预留 0.2nm 带宽。根据式(4)可算出每个传感器所需的带宽范围。

$$[0030] \quad \Delta\lambda_1 = \Delta\lambda_T + \lambda_{\text{间隔}} \quad \text{式(4)}$$

[0031] 式(4)中  $\Delta\lambda_T$  为单个光栅传感器的中心波长漂移带宽,即表示传感器的温度测量范围。可由变压器绕组的测温范围根据式(3)求得。

$$[0032] \quad N = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\lambda_1} \quad \text{式(5)}$$

[0033] 式(5)中,通过宽带光源带宽除以单个传感器所需带宽即得单根光纤布置传感器数量  $N$ 。

[0034] 本发明中,为达到多点准分布式测量目的,应用波分复用技术,通过合理的设计,在一根光纤上串联多个光栅,可保证温度变化范围内各个光栅的波长漂移不发生串扰。由于光纤光栅与光纤之间存在固有的兼容性,可以将多个不同中心波长的光纤光栅串联在一根光纤上构成光纤光栅阵列,实现准分布式传感。光栅阵列传感及信号解调原理如图 2 所示,对于同一根光纤上的两个或多个光栅传感器,在反射光谱上会出现  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  两个中心波长信号,两波长的漂移范围  $\Delta\lambda_1$  和  $\Delta\lambda_2$  即为两个传感器的传感测温范围,测温范围之间需根据需求留一定的缓冲区以免波长重合,中心波长的间距范围根据这些参数影响来设定。对 FBG 阵列的布拉格波长进行合理波长编码,编码的原则是根据温度的变化范围,保证量程内各光栅反射谱(各光栅的中心波长  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  及其工作范围  $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2, \dots, \Delta\lambda_n$ ) 不发生重叠或交替,达到准确寻址复用传感光栅的目的,同时根据被测场大致的变化情况,合理选择各点的初始中心波长,使相邻的光栅之间有尽可能大的波长间隔。

[0035] 本发明系统中,传感器的封装与布置方案对变压器及其部件的生产工艺提出独特的解决方案和工艺文件。传感器布置的点数和位置需根据变压器绕组温度场监控和还原的要求进行严格控制。在变压器电磁线、撑条及铁芯上布置的传感器须满足光纤光栅的机械强度和应力去敏要求,相邻中心波长光栅的波长间隔和测温范围要求,以及不影响变压器原有正常工作性能的要求。

[0036] 本发明系统功能描述为:可以准确测量出变压器绕组各探测点温度,并对数据进行处理远程传输显示,并依据此还原变压器温度场;在测量温度参量的同时,还可以对应力变化、局部放电、油色谱等变压器内性能参数进行传感测量分析;最终实现带有高精度、可靠、实时在线的光纤光栅温度检测系统的所有电压等级的油浸式变压器、电抗器样机工程化应用。其主要内容如下:在变压器内部绕组温度检测中引入光纤光栅测温方法;搭建基

于油浸式电力变压器的试验平台,并以此形成行业标准,制作而成的工业应用的变压器样机及其相应的传感及信号处理系统;结合光纤传感器的信号解调系统和工业化变压器仪表显示的相应要求,发明的变压器多点信号解调方法及系统,其功能包括数据校正,温度增敏、应力去敏技术,数据显示传输和寿命评估功能。

[0037] 变压器温度探测系统包括变压器,传感器和信号处理显示部分。其中,变压器部分为根据传感器布置要求进行相应绕组封装、撑条封装等工艺改进的变压器系统;传感器部分必须满足0℃到200℃测温范围,测量精度优于1℃,定位精度优于0.1米。电气特性和机械特性满足变压器内部要求的光纤光栅传感器;信号处理显示部分包括宽带光源和显示仪表。

[0038] 本发明通过光电传感器实现变压器内部多点温度的实时测量;作为变压器设计的验证参照手段和运行中变压器工况的一种状态检测方法,能提高变压器本体的智能化水平,对变压器经济运行提供良好的基础。

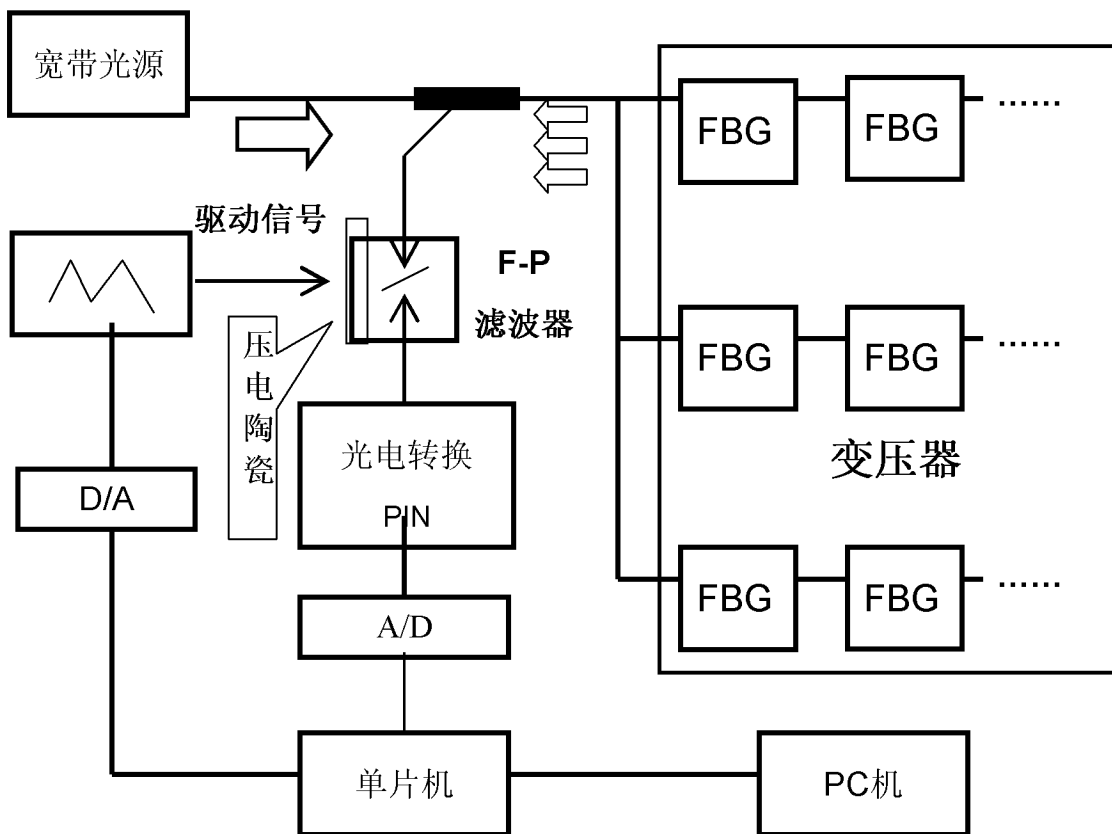


图 1

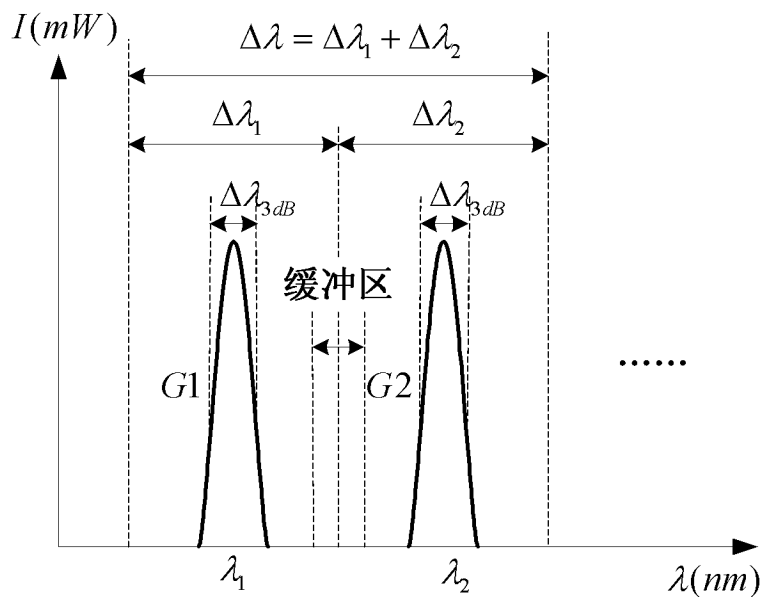


图 2