

分布式光纤测温系统在电力电缆在线监测中的应用

张春阳

(无锡供电公司,江苏 无锡 214061)

摘要:随着智能电网的普及,分布式光纤测温技术成为国内外研究的热点。文中总结了分布式光纤测温系统的研究现状,对基于拉曼散射测温系统的基本原理及其特点进行了分析,解析了基于光纤测温的电缆监测系统的结构,最后重点介绍了分布式光纤测温系统在电力电缆中在线监测中的应用,并以实例证明了分布式光纤测温系统是目前电力电缆在线监测实现故障诊断及定位技术的最有效手段。

关键词:分布式光纤测温系统;工作原理;在线监测

中图分类号:TP212

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)04-0056-03

随着经济社会的发展,能源问题日益突出。为了响应国家走可持续发展道路 的号召,国家电网决定大力发展智能电网。智能电网对可靠性和稳定性的要求越来越高,给电网的日常运行维护工作也带来了新的挑战 and 机会。在电力系统中,电力电缆主要是用来进行电能的传递,电缆常常因长期运行而发生绝缘老化,由于所处外部环境恶劣及内部高负荷电流而引起局部高温甚至火灾,而传统的运行维护方法主要靠人工进行日常巡视,这需要大量人力和设备,不能准确、快速地反映电力电缆的健康状况,大大影响了电网的安全、可靠运行。因此,很有必要对电力电缆进行实时在线监测,从而能够及时进行故障诊断和定位,使事故消除在萌芽状态。智能配电网中光纤复合架空相线(OPPC)和光纤复合低压电缆(OPLC)的大量使用,为分布式光纤测温系统在电力电缆在线监测中的应用打下了扎实的基础。

基于分布式光纤传感技术的优势,其理论和应用研究一直是国内外研究的热点^[1]。1981年英国的南安普敦大学首次提出了分布光纤温度传感器系统的定义,1987年英国YORK技术有限公司首次推出了商品化的拉曼后向散射效应的DTS分布式光纤温度传感系统。目前,国外关于分布式光纤测温系统的研究已经相当成熟,其测量距离最长可达30 km,温度分辨率最高可达0.5℃,空间定位精度最高可达0.5 m;而国内同类产品的监测距离最大为5 km,空间分辨率为2 m,温度分辨率为1℃,国内产品相比国外产品在性能指标上还存在一定的差距。

1 分布式光纤测温系统工作原理及特点

1.1 定位原理

分布式光纤测温系统在时域中利用OTDR(Optical Time-Domain Reflectometer)技术原理来对

不同的温度点进行精确定位。OTDR技术基于光的瑞利散射和背向反射原理,当光脉冲在光纤中进行信息传递时,光纤上的每一处都会发生散射现象,散射大小和光功率强弱成正比,光功率和光纤的衰耗情况有关。由于瑞利散射是全方位的,有一部分光会反向传输到输入端形成背向散射光,利用OTDR探测器测量到的入射信号到达某测温点后返回信号所用的时间,可以初步计算出该测温点的位置^[2],即:

$$L = \frac{C \times \Delta t}{2n} = \frac{3 \times 10^8 \times \Delta t}{2n} \quad (1)$$

式(1)中: L 为测温点距离入射点的距离; C 为光脉冲在真空中的速度; n 为光纤纤芯的折射率大小; t 为信号从发射到返回的时间。

1.2 测温原理

DTS(Distributed Temperature Sensor)光纤分布式温度测量系统利用光子的拉曼散射温度效应来实现温度的检测。光纤本身不仅进行信号传输,还用于探测温度,即传播传感一体化。当激光脉冲在光纤中传输时,光纤分子的热振动和光子相互作用发生能量交换会产生拉曼散射。若一部分光能转换成热振动,则会产生一个比光源波长长的光,称之为斯托克斯光(Stokes),如果一部分热振动转换成光能,则会产出一个比光源波长短的光,称之为反斯托克斯光(Anti-Stokes)^[3-5]。

Stokes 光强:

$$I_s \propto \left[\frac{1}{\exp(hc\Delta\gamma/kT) - 1} + 1 \right] \times \lambda_s^{-4} \quad (2)$$

Anti-Stokes 光强:

$$I_a \propto \left[\frac{1}{\exp(hc\Delta\gamma/kT) - 1} + 1 \right] \times \lambda_a^{-4} \quad (3)$$

由于Stokes光强度受温度的影响很小,可忽略不计,Anti-Stokes光强度会随着温度的变化而变化。而Anti-Stokes光与Stokes光的强度之比提供了一个关于温度的函数关系式,即:

$$R(T) = \frac{I_a}{I_s} = \left(\frac{\lambda_s}{\lambda_a}\right)^4 \exp(-hc\Delta\gamma/kT) \quad (4)$$

式(2—4)中: I_a, I_s 分别为 Anti-Stokes 和 Stokes 的光强度; λ_a, λ_s 分别为 Anti-Stokes 和 Stokes 的波长; h 为普朗克常量; c 为光速; k 为波尔兹曼常数; T 为绝对温度; $\Delta\gamma$ 为偏移波数。

光在光纤中传输时向后拉曼散射光沿光纤原路返回,被光纤探测单元接收。测温主机通过测量背向拉曼散射光中 Anti-Stokes 光与 Stokes 光的强度比值的变化就可实现对外部温度变化的监测。

1.3 工作原理

分布式光纤测温系统的原理是利用激光在光纤中传输时产生的拉曼(Raman)散射和光时域反射原理来获取空间温度的分布情况,其工作原理如图1所示。

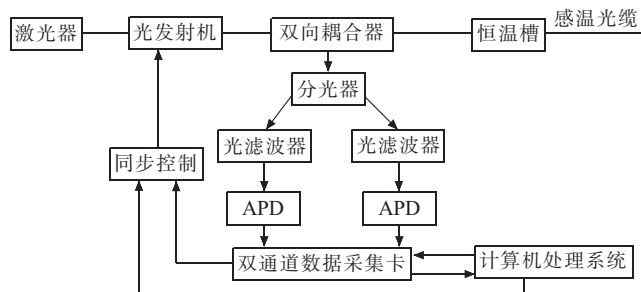


图1 工作原理图

光发射机在同步控制单元的触发下,形成一定周期和持续时间的短脉冲光,该脉冲驱动半导体激光器产生大功率的光脉冲,脉冲光通过光耦合器连接到恒温槽,然后进入传感光纤。其中,恒温槽用于系统标定温度。同时,双向耦合器将散射回来的后向拉曼光耦合至光处理系统。通过分光器,滤出 Stokes 光和 Anti-Stokes 光,分别进入不同的光路进行处理。由于散射光中还夹杂着其它散射光和干扰光,所以需要两路光进行一定的带通滤波处理。由于后向拉曼散射光的强度非常微弱,拉曼散射光进而通过 APD(雪崩光电二极管)进行光电转换和放大,得到一定范围的有效电压值。然后由数据采集单元进行高速数据采样并转换为数字量,最后经过信号处理器对信号进一步处理,便可将温度信息实时计算出来。同时根据光纤中光的传输速度和后向光回波的时间对温度信息定位。

工作人员根据实际情况预先在系统中预先设定测温光纤的始末长度与测温的距离间隔,以每个点测得的温度值作为提取对象,在数据提取程序下对这些点所在光纤上的刻度值进行定义,从而实现对监测点的温度值实时在线监测。分布式测温系统按照设定的间隔每隔一定时间针对所有监测点记录相关温度数据,随着通信网络的大力发展,网络结构越来越复杂,线路长度越来越长,产生的数据也越来越大,相关管理和处

理也越来越困难,如采用传统人工的检查和处理,则工作量非常巨大,且容易遗漏与出错。分布式测温系统采用数据库系统编程的方式来进行数据导入、异常数据的检验、数据处理后的导出等操作,并能够与常规温度计实测温度进行差值比较,按差值大小来进行自定义显示,进行修改或者剔除等处理操作,提高了光纤数据前处理工作的效率。系统采用统计检验方法识别温度异常值。统计检验方法采用统计理论进行观测资料检验,因为有一定的数学依据和判断标准,很大程度上减少了分析人员的主观性,也不依赖于分析人员的经验和技术水平。对于异常温度测值,程序可以根据识别因子判断并作出标记,如果程序判断为温度异常数据,将通过操作将异常温度测值直接剔除。

1.4 技术特点

传统的电温度传感器包括传统的热电偶传感器、热电阻传感器以及特殊的半导体传感器等,这些传感器容易受电磁干扰,同时易燃、易爆,腐蚀性差。由于是点式测量,有盲区,在现实工作中,也不便于安装、布线,维护工作量大,成本高。分布式光纤测温系统与传统的电缆感温系统相比,有以下优点:

- (1) 以光纤为媒介,光纤的纤芯材料为二氧化硅,耐腐蚀,不受电磁干扰,使用于特殊场合;
- (2) 线性测量,无盲区,可以准确地测出光纤沿线任一点的温度量,灵敏性高,信息量大,数据直观;
- (3) 光纤体积小,重量轻,抗拉伸,同时纤细柔软,便于安装;
- (4) 监测距离长(可至 10 km),一条光缆即可完成控制和信号传输,所有设置都在终端完成,整个系统简单稳定,易于维护操作;
- (5) 温度达到报警值,不影响系统的正常使用,可靠性高,使用寿命长。

2 分布式光纤测温系统在电力电缆中的应用

2.1 在线监测系统网络结构

基于分布式光纤测温的电缆监测系统可采用 B/S 结构,其网络结构如图2所示。

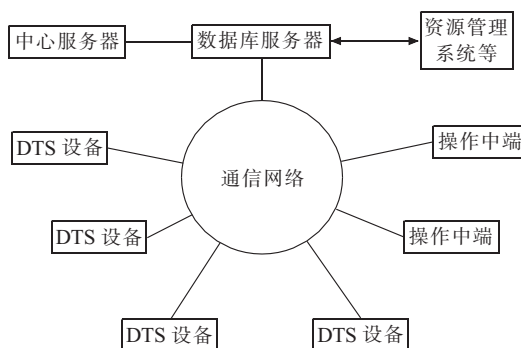


图2 在线监测系统结构图

DTS 设备负责进行测温,将所得的数据保存在数据库服务器中,中心服务器完成综合监视、数据管理、事件管理、台账管理、统计管理和系统管理。用户可以通过操作终端连接到监测服务器,获取相关数据,完成各项任务,实现系统的各项操作功能。同时,该监测系统网络级互通接口实现与其他网管系统、资源管理数据库系统等系统互通,从而实现资源共享。该监测系统能查询其他系统的相关数据,其它系统也能从该在线监测系统中提取自己所需的信息。通过这种基于 B/S 的模式控制简单,系统扩展性好。

2.2 实际应用效果

(1) 无锡某电力管廊 10 kV 电力电缆采用了外置式光纤测温系统进行在线监测。状态检测主机和 DTS 测温主机均安装于监控室的控制柜中,探测光缆沿着电缆表面敷设,且每隔 1 m 使用尼龙扎带或固定夹具进行绑扎,探测光缆安装示意如图 3 所示。



图 3 外置探测光缆安装示意图

探测光缆既可以作为温度传感器感应温度信息,又可以作为信息传输通道将相关温度信息传送给 DTS 测温主机进行处理。DTS 测温主机与电力电缆状态监测主机之间通过 TCP/IP 协议进行通信,通过检测主机内置软件实现对 DTS 测温主机和监测范围进行相关配置,DTS 测温主机将温度信息传送给电力电缆状态监测主机内置软件进行后期处理,输出实时电缆温度及报警信息等。

(2) 无锡某小区 1 号公配所至 2 号楼的 10 kV 电力电缆采用了内置式光纤测温系统进行在线监测。状态检测主机和 DTS 测温主机均安装于公配所的控制柜中,采用光纤复合电缆中的内置光纤来进行探测,安装示意如图 4 所示。



图 4 内置探测光缆安装示意图

分布式光纤测温技术在电力电缆中的应用,可以有效地监测电缆在不同负载下的发热状态,积累历史数据;通过载流量分析,可以保证在不超过电缆允许运行温度的情况下,最大限度地发挥电缆的传输能力,降低其运行成本;进行老化监测,发现电力电缆上的局部过热点,及时采取相关降温措施,延缓电力电缆老化的速度;进行实时故障监测,及时发现电缆运行过程中的外力破坏等。

(3) 电力电缆状态监测主机一般安装于变电站监控室或者中央控制室内,电力电缆状态测温软件通常内置于主机内,用户可以通过状态监测系统可以及时、准确地了解电力电缆的工作状态。分布式光纤测温系统界面可以实时地显示各电力电缆线路上的温度分布曲线、各点温度随时间的变化曲线、不同区域的独立报警、最高温度的报警、温度上升速率的报警等。

3 结束语

基于分布式光纤测温系统的电力电缆在线监测系统,通过将导线、电缆张力、温度、垂度、信息和电气相关信息相结合,不但能够实现实时对电力电缆负荷情况的在线监测,还能够及时、准确地进行限制电缆载流量瓶颈点的温度监控和定位,方便了电力部门及时调整负荷和线路的日常维护,减少了由于停电对用户带来的经济损失。更为重要的是,通过将故障电量信息与温度信息进行实时显示处理,能够对电力电缆故障进行及时报警,迅速准确地确定电力电缆的故障点位置,指导相关检修人员及时赶到事故地点进行电力电缆修复,大大提高了供电的可靠性。分布式光纤温度测量系统是目前电力电缆在线监测最有效的手段之一。

参考文献:

- [1] 张颖,张娟,郭玉静,等. 分布式光纤温度传感器的研究现状及趋势[J]. 仪表技术与传感器,2007,08(3):1-2.
- [2] AOYAMA K, NAKAGAWA K, ITOH T. Optical Time Domain Reflectometry in a Single-mode Fiber[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1981, 17(6): 862-868.
- [3] 刘扬,侯思祖. 基于拉曼散射的分布式光纤测温系统分析研究[J]. 电子设计工程,2009,17(1):23-25.
- [4] AHANGRANI M, GOGOLLA T. Spontaneous Raman Scattering in Fibers with Modulated Probe Light for Distributed Temperature Roman Remote Sensing [J]. Journal of Lightwave Technology, 1999(8): 1379-1391.
- [5] 刘文,杨坤涛,许远忠. 基于自发 Raman 散射分布式光纤测温系统设计[J]. 光通信研究,2005(4):54-56.
- [6] 吴为国,茅丰. 基于无线通信技术的电缆测温实时监测系统[J]. 江苏电机工程,2013,32(3):54-56.

作者简介:

张春阳(1971),男,江苏无锡人,工程师,从事电力通信管理工作。

(下转第 62 页)

三角回路,在新投运时要认真检查其极性是否符合方向保护等要求。

(2) TV 二次回路接地的主要目的是防止一次高压通过 TV 绕组之间的电容耦合到二次侧时可能对人身及二次设备造成威胁。但如果有 2 点接地或多点接地,当系统发生接地故障,地电网各点间有电压差时,将会有电流从 2 个接地点间流过,在 TV 二次回路产生压降,该压降将使 TV 二次电压的准确性受到影响,严重时影响保护装置动作的准确性。在本工程案例中各电压等级的 TV 应统一采用了中性点接地,并且全站各 TV 二次回路共用一个零相电压小母线,在主控室一点接地。

3.3 二次回路的切换和并列

本工程案例中,变电站 220 kV 电气主接线为双母线接线,为了保证保护装置及测量、计量等设备采集的二次电压与一次对应,必须设置二次电压的切换和并列回路。双母线接线的母线二次电压并列条件:在一次母联或分段断路器在合闸位置,并且两侧的隔离刀闸也在合闸位置,当 1 台 TV 停运,只有停运的 TV 一次隔离刀闸分开,并且二次电压总开关断开时,二次回路才允许并列。在 TV 停运时,首先断开二次空气开关,防止由于 TV 隔离刀闸辅助接点问题或切换继电器问题,使得二次回路的电压倒送至一次侧,由于 TV 变比很大,一次的电容电流将使二次回路过载,造成正常运行的 TV 二次总开关跳闸,影响计量及保护装置的正

常运行^[3]。在双母线接线的变电站中,采用自动切换的方式,能做到一、二次操作的基本同步,一般使用双位置继电器,即使直流电源消失或隔离刀闸辅助接点接触不良,继电器接点将保持在原有位置,提高自动切换的可靠性。需要注意二次回路中的中性线不能经切换继电器的接点切换,防止因切换继电器的动作而使二次回路失去接地点。

4 结束语

220 kV 变电站母线 TV 二次回路改造是一项涉及运行间隔较多、危险点较多、较为复杂的工程,不仅要在改造过程中确保安全,还要在改造过程中不留隐患,确保各保护装置不能因为电压问题而发生不正确动作等。能否保证工程安全顺利完成,则需要设计、施工、验收等涉及各个环节的所有从业人员认真、尽责地做好各项工作。

参考文献:

- [1] 支叶青. 继电保护[M]. 北京:中国电力出版社,2010:241-247.
- [2] 国家电网公司. 国家电网公司十八项电网重大反事故措施(2012年修订)[Z]. 北京:国家电网公司,2012.
- [3] 李 斌,黄奇峰,杨世海. 高压多绕组电压互感器二次负荷配置优化与改造工程实施[J]. 江苏电机工程,2012,31(5):5-8.

作者简介:

王德全(1978),男,江苏淮安人,高级技师,从事继电保护、直流专业工作。

Discussion on the Secondary Circuit Remoulding of a 220 kV Bus TV

WANG Dequan

(Huaian Power Supply Company, Huaian 223200, China)

Abstract: The distance protection and directional protection in 220 kV substation require a lot on the secondary voltage size and direction of bus TV. Therefore, during the period of secondary voltage loop reform, constant voltage must be kept and the problems of loop ground and voltage polarity must be avoid. A 220 kV substation bus TV secondary loop reform is introduced in this paper. Based on the introduction, some problems should be noticed for future similar projects are discussed.

Key words: TV; secondary loop; reform

(上接第 58 页)

Application of Distributed Fiber Optic Temperature Measurement System in Power Cables Online Monitoring

ZHANG Chunyang

(Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214061, China)

Abstract: With the popularity of smart grids, the distributed optical fiber temperature measurement technology has become a hot research area both at home and abroad. This paper introduces the research status of distributed optical fiber temperature measurement system, the basic principles and characteristics of Raman scattering measurement system, the structure of the cable temperature monitoring system based on fiber cable temperature measurement, and the application of distributed optical fiber temperature measurement system in the online monitoring of power cables. An actual example is taken to verify that the distributed optical fiber temperature measurement system is the most effective means to achieve fault diagnosis positioning in power cables online monitoring.

Key words: distributed optical fiber temperature measurement system; operation principles; online monitoring