

基于虚拟仪表的网络化电缆温度实时监测装置

罗佑坤¹, 夏慧恒², 钟卫良², 明玲玲¹

(1. 广州蓄能水电厂, 广东 广州 510950; 2. 广东电网韶关供电局, 广东 韶关 512000)

摘要: 描述了在电力系统中采用光纤温度传感器进行测温的方法, 并在此基础上介绍了一种基于 IEEE1451 的网络化传感器的基本特点, 实现了通用网络接口设计方案。这种用于电力系统特殊条件下测温的网络化分布式电缆温度实时检测系统集成光纤技术、现代传感器技术、网络技术和计算机测控技术于一体, 实现现场测试数据实时在线监测。最后介绍了在某市电网桃苑变至船山变 110kV 高压电缆温度监测工作地实际应用情况。试验结果说明该技术温度误差小、定位精度高、响应时间短、运行可靠且能实现距离大范围测温, 可有效应用于电缆的温度在线监测, 为电缆载流量的确定提供有效的参考数据, 具有良好的应用前景。

关键词: 分布式光纤测温; 传感器网络化接口; 在线监测; 虚拟仪表; 网络化测试

A network real-time temperature monitoring device based on the virtual instrument

LUO You-kun¹, XIA Hui-heng², ZHONG Wei-liang², MING Ling-ling¹
(1. Guangzhou Pumped-storage Hydroelectricity, Guangzhou 510950, China;
2. Shaoguan Power Supply Bureau, Shaoguan 512000, China)

Abstract: This paper discusses the fiber optic temperature sensors for temperature measurement methods used in power system. Such network distributed real-time detection system integrates fiber technology, modern sensor technology, network and computer monitoring and control technologies. Finally, actual temperature monitoring application in Taoyuan-Chuanshan 110 kV high voltage power lines in a city power grid is introduced. Test results show the high positioning accuracy and short response time. The system is reliable and can achieve large-scale temperature measurement. It can be effectively applied to on-line monitoring of temperature.

Key words: fiber optic temperature measurement; network interface of sensors; on-line monitoring; virtual instrument; network test

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)15-0107-03

0 引言

电力系统电缆是电力系统重要的组成部分, 同时是发电厂、变电站维持正常运行的重要元素。电力电缆分布广泛, 具有易燃性和着火后的漫延性。一旦被击穿, 引起的火灾将导致大面积电缆烧损, 造成重大的经济损失。电缆事故具有发生频率高, 事故后果严重等特点。因此有效地防止由于电缆层绝缘降低导致过热而引发的火灾是电网监测的重要内容之一。同时电力电缆及其终端的表面温度与内部线芯温度的对应关系取决于电缆结构和线芯载流量。电缆温度数据进行适当的分析, 就可得知线芯载流量的有关情况, 继而确定电缆系统最佳的和最安全的载流能力。目前生产中采用的测温方法主要有传统点式感温装置(如热电偶), 热成像原理检测装置等。点式感温装置无法对整条电缆线路实现温度在线监测; 热成像原理检测装置成本较高, 且易

受气象条件影响。因此, 开发一套能够实时监测分布式电缆对象温度的装置具有重要意义。

1 监测系统基本组成

1.1 光纤测温传感器

分布式电缆光纤温度传感器的工作原理是采用光时域反射计(OTDR)^[1,2]技术测量光在光纤中传输时由光纤上各点产生的后向散射光, 再根据散射光所携带的温度信息, 获取沿光纤路径上的电力线路不同位置的温度场的信息。具体结构如图 1。

具体工作过程如下^[3,4]: 分布式光纤温度传感系统工作时, 在同步控制单元的控制下, 脉冲驱动电路产生电流脉冲, 该脉冲驱动半导体激光二极管产生的光脉冲注入到激光器中, 从激光器输出的光脉冲经过光路耦合器再进入传感光纤。光在光纤中发生散射后, 其携带有温度信息的拉曼后向散射信号(即斯托克斯和反斯托克斯光)返回到定向耦合器,

定向耦合器不但可以将发射的光脉冲直接耦合进光纤,而且可以将散射回的不同于发射波长的拉曼散射光耦合至分光器。分光器由两个不同中心波长的光滤波器组成,滤斯托克斯和反斯托克斯光通过滤光片后,送入数据处理单元。在数据处理单元中,光信号首先经 APD 组成的光电转换器转换为电信号,经放大后,进行高速采样,变为数字量,经进一步处理后得到温度分布信息。

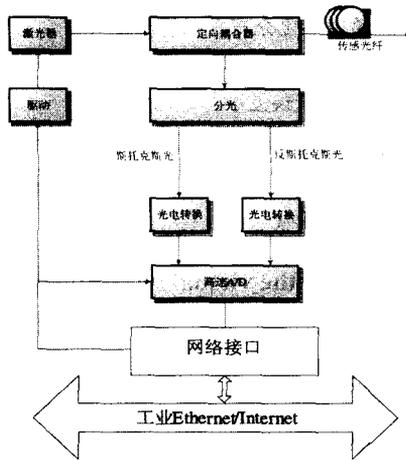


图1 光纤测温传感器结构图

Fig.1 Structure of fiber temperature sensors structure

根据激光脉冲在光线中传播的^[5,6]拉曼散射原理。在系统测量终端实际接受到的反斯托克斯光与斯托克斯光功率之比为

$$\frac{P_{as,sum}}{P_{s,sum}} = \frac{S_{ac} T_{as}}{S_s T_s} e^{-(a_{as}-a_s) \frac{V_s}{2}} \quad (1)$$

若忽略光纤在反斯托克斯和斯托克斯波长上光传输损耗的差异,即 $a_{as} = a_s$, 同时认为干涉滤光片对反斯托克斯光、斯托克斯光的透射系数近似相等,则公式(1)写成

$$\frac{P_{as,sum}}{P_{s,sum}} = R(T) = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_{as}}\right)^4 e^{-\frac{hc\Delta\gamma}{kT}} \quad (2)$$

式中: γ_s, γ_{as} 分别为正反斯托克斯光波长, k 为波尔兹曼常数, h 为普朗克常数, T 为绝对温度, c 为真空光速。

公式(2)表明了系统测量原理。终端检测到的光纤中 z 处的反斯托克斯光与斯托克斯光之比确实表征了光纤 z 点所处的环境温度,且这一比值与其它非温度因素无关。

根据式(1)理解式(2),若以激光脉冲注入光纤的瞬间为计时开始,即 $z=0$ 处 $t=0$,则在 t 时刻系统测量终端接收到的反斯托克斯和斯托克斯信号在光

纤上所处的空间位置 z 为 $z = V_g t / 2$; 测量时刻的不同,测量终端接收的光功率对应着传感光纤的不同空间位置,传感光纤的空间位置从 $z=0$ 增加到 $z=L$ (L 为传感光纤长度)对应的测量时刻从 $t=0$ 到 $2L/V_g$,在系统测量终端实现了传感光纤所处环境温度的分布式测量。

1.2 网络化检测平台

网络化检测平台的基本功能单元包括:中央管理计算机、网络化仪器、传感器网络化接口、网关、防火墙等(图2)。

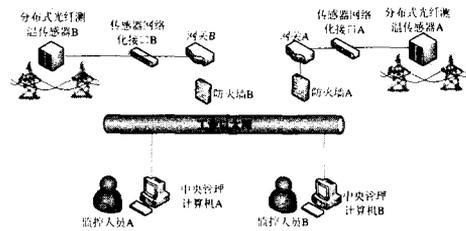


图2 网络化检测平台结构图

Fig.2 Structure of network testing platform

中央管理计算机是虚拟测试系统的关键部分。主要对基本功能单元采集来的数据进行计算、处理与综合,形成可视化显示。中央管理计算机上的在线监测应用软件主要包括仪器面板控制软件和数据分析处理软件两部分。采用 LabVIEW 数据流框图编程,利用计算机强大的图形功能实现虚拟在线监测仪器面板,给用户提供了操作仪器、显示数据的人机接口,及数据采集、显示、存储等任务。仪表面板如图3所示。

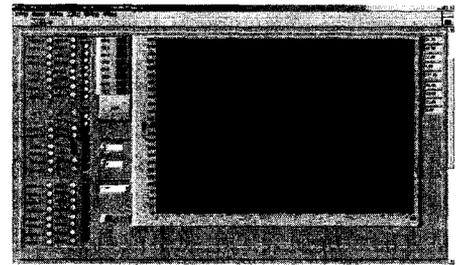


图3 监测仪表面板

Fig.3 Monitoring instrument panel

传感器的网络化接口使用 TCP 协议对 IP 协议进行调用,能在现场实现 TCP/IP 协议。使传感器能直接与 Ethernet 或 Internet 相连,即具有进入网络的能力。实现现场测控数据就近上网,在网络所能及的范围内实时发布和共享信息。

本方案中,采用专用的集成芯片 EDI1520, PLCC-44 来实现由 IEEE 和 NIST 联合制定的 IEEE 1451.1 标准传感器接口。软件采用 IEEE1451.2 标准

的 STIM 软件模块:STIM 模块、STIM 传感器接口模块、TD 模块和 TEDS 模块。将应用的各种传感器的模拟量转换成^[7,8]标准规定格式的数据,连同传感器电子数据表 TEDS 与标准规定的处理器目标模型(网络应用处理器 NCAP)连接。这样,传感器输出的模拟信号经 A/D 转换及数据处理后,由网络处理装置根据程序的设定和网络协议将其封装成数据帧,并加上目的地址,通过网络接口传输到网络上。

2 实际应用案例

该检测系统已在某市电网桃苑变至船山变(长度 3 km) 110 kV 高压电缆温度监测工作中投入使用。在线监测系统采用了西门子 MFLT4PA 型塑料护套型探测光缆。探测光缆由探测光纤、塑料保护层、尼龙纤维包裹层及光缆外层组成(见图 4),外壳具有红外线吸收功能。感应光纤根据国际标准和特性波导为 62.5/125/250 等级指数的多模型光纤,光纤的核心材料是特别设计的,能够产生强烈的喇曼散射作用^[9, 10]。

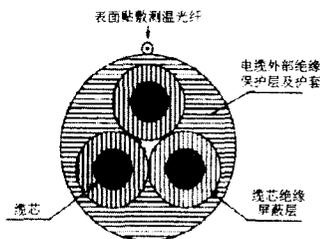


图 4 光纤敷设位置图

Fig.4 Location of laying fiber

光纤测温传感器采用西门子 OTS100。现场部分与探测光缆通过一根尾纤来连接,尾纤的一端直接插入 OTS100 接口,另一端和探测光缆熔接起来(接头通过接头盒保护)。探测光缆从现场仪器柜沿电缆沟进入电缆隧道。OTS100 连接的探测光缆在电缆隧道内沿北侧支架 4 回 110 kV 电缆(桃朝滕 II、桃船 II、桃朝滕 I 和桃船 I) 直线敷设于电缆 B 相表面。

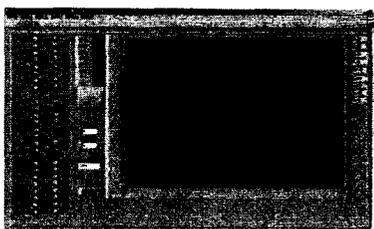


图 5 现场应用监测结果

Fig.5 The scene monitoring results

监测效果观察时间为 2007 年 9 月 12 日,下午

14 点整。效果如图 5 显示。在 104 m、117 m 两处出现两个温度监测峰值。根据仪表显示面板的数据判读两处的温度幅值分别为 32.9℃、34.2℃。其它位置的温度在 20℃~22℃(该地区日间最高温度)之间。后派出运行人员沿线检查。经检查发现,这两处电缆绝缘层由于日晒等原因已经老化,如不更换,可能被击穿。

3 结束语

本文中的网络化分布式电缆温度监测系统能对电力系统中的高压电缆进行全线的实时温度监测。实现长距离大范围的电缆温度测量,定位精度高、安装使用方便、受使用环境电磁影响小、运行稳定可靠。采用该技术可获得长距离和精确的测温结果,为电缆系统最佳和最安全载流量的确定提供直接数据。在系统实时负载能力的计算、电网短期超负荷能力的计算、电缆的载流量最优化配置以及实现负荷的经济调配等方面具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 刘建胜,李铮,张其善.光纤完全分布式温度传感系统研究进展[J].电子科技导报,1999,(3):10-13.
LIU Jian-sheng, LI Zheng, ZHANG Qi-shan. Electronic Science & Technology Review, 1999,(3):10-13.
- [2] 于强敏.分布式光纤测温系统研究[M].北京:北京航空航天大学出版社,1999.
YU Qiang-min. The Research of Distribute Optic Fiber Temperature-Measurement Set[M]. Beijing: Beihang University Press, 1999.
- [3] 宋牟平,汤伟中.实现高空间分辨率分布式光纤传感器的理论分析[J].光通信技术,1999,23(1):64-69.
SONG Mu-ping, TANG Wei-zhong. Theoretic Analysis of the Schemes for Realizing High Spatial resolution DOFS[J]. Optical Communication Technology, 1999,23(1):64-69.
- [4] 耿军平,许家栋,郭陈江,等.全分布式光纤温度传感系统研究进展及趋势[J].传感器技术,2001,20(2):4-8.
GENG Jun-ping, XU Jia-dong, GUO Chen-jiang, et al. Development and Trend of Fully Distributed Fiber Optic Sensor for Distributed Temperature Measurement[J]. Journal of Transducer Technology, 2001,20(2):4-8.
- [5] 史晓锋,李铮,蔡志权.分布式光纤测温系统及其测温精度分析[J].测控技术,2002,21(1):9-12.
SHI Xiao-feng, LI Zheng, CAI Zhi-quan. Optical Fiber Distributed Temperature Measurement System and Precision Analysis[J]. Measurement & Control Technology, 2002,21(1):9-12.
- [6] 陈真,王延江,王钊.基于 LabVIEW 的远程数据采集系统开发[J].仪表技术与传感器,2006,(6):27-29.
CHEN Zhen, WANG Yan-jiang, WANG Zhao. Design of the Remote Data Acquisition System Based on DAQ[J]. Instrument Technique and Sensor, 2006,(6): 27-29.

(下转第 116 页 continued on page 116)

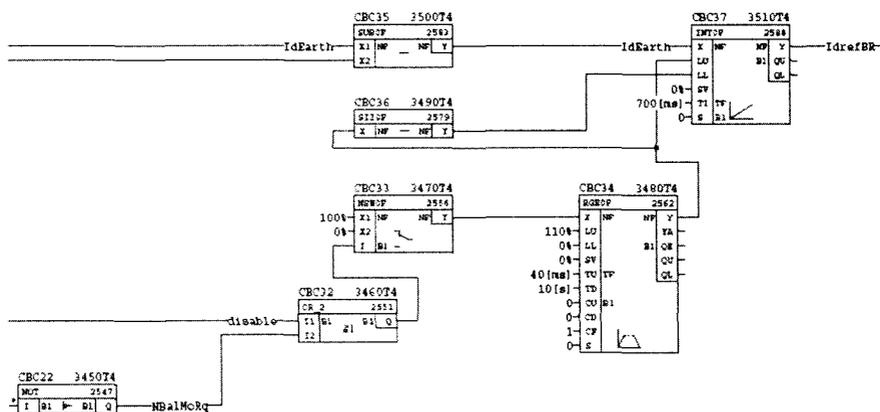


图 7 双极平衡功能软件图

Fig.7 Software chart of current balance

4 结论

接地极线路是直流输电系统的重要设备之一，其运行的安全稳定与否将直接影响到整个直流输电系统的运行情况。为了确保接地极线路故障时既能尽快消除故障，又能保证直流输电系统的稳定运行以及人身和设备的安全，建议将单极方式下接地极线路故障的后果改进为启动故障重启动，双极方式下接地极线路故障的后果改进为启动双极平衡功能。

本文结合仿真探讨了改进方案及相应改进后接地极线路和高压直流线路相继故障时可能带来的系统稳定方面的问题，这对国内直流输电系统的运行、维护、改造以及未来直流输电工程的设计和和实施提供了有益的参考。

参考文献

[1] 浙江大学发电教研组直流输电教研组.直流输电[M].北京:水利电力出版社,1985.
 [2] 赵晓君.高压直流输电工程技术[M].北京:中国电力出版社,2004.
 [3] 余江,周红阳,黄佳胤,等.接地极线路不平衡保护的相

关问题研究[A].2007 第十一届全国保护和控制学术研讨会[C].2007.

YU Jiang, ZHOU Hong-yang,HUANG Jia-yin, et al. Issues of Electrode Line Unbalance Protection[A]. in: The 11th National Conference on Protection and Control[C].2007.

[4] 王海军,吕鹏飞,曾南超,等.贵广直流输电工程直流线路故障重启动功能研究[J].电网技术,2006,30(23):32-35

WANG Hai-jun, Lü Peng-fei, ZENG Nan-chao,et al. Research on DC Line Fault Recovery Sequence of Guizhou-Guangdong HVDC Project[J]. Power System Technology, 2006, 30 (23): 32-35.

收稿日期:2008-09-16; 修回日期:2009-10-19

作者简介:

朱韬析(1980-),男,硕士,工程师,目前从事直流输电运行维护工作。E-mail:taoxi_zhu@hotmail.com

何方(1981-):男,助理工程师,目前从事直流输电管理工作。

何焯勇(1983-):男,助理工程师,目前从事直流输电运行维护工作。

(上接第 109 页 continued from page 109)

[7] 雷振山.LabVIEW7Express 实用技术教程[M].北京:中国铁道出版社,2001.
 LEI Zhen-shan. LabVIEW7 Express Technology Tutorial[M]. Beijing:China Railway Press, 2001.
 [8] 戴新.国产数据采集卡在虚拟仪器中的应用[J].计量与测试技术,2006,(2):17-20.
 DAI Xin. Usage of Data Collector in Virtual Instrument[J]. Metrology & Measurement Technique, 2006,(2):17-20.
 [9] 关旭,张春梅,王尚锦.虚拟仪器软件LabVIEW和数据采集[J].微机发展,2004,(3):77-79.
 GUAN Xu, ZHANG Chun-mei, WANG Shang-jin. Virtual Instrument Software Labview and Data Acquisition[J]. Microcomputer Development, 2004,(3):77-79.

[10] 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.

CHENG Yong-hong. Measurement and Diagnosis of Electric Power Set Insulation[M].Beijing:China Electric Power Press,2001.

收稿日期:2008-09-08; 修回日期:2008-11-10

作者简介:

罗佑坤(1981-),男,电力工程师,学士,从事抽水蓄能电厂运行的相关工作;

夏慧恒(1978-),女,电力工程师,学士,主要从事电网运行方向的研究; E-mail:xiahuiheng@163.com

钟卫良(1975-),男,电力高级工程师,本科,主要从事配电管理、电力市场方向的研究。