

Design and Implementation of Cable Fault Monitoring System Based on Distributed Optical Fiber Temperature Sensor

Lei Zhang, Dai Liu

State Grid Dongying Power Supply Company, Dongying Shandong

Email: dianwangzhanglei@163.com

Received: Jul. 20th, 2016; accepted: Aug. 13th, 2016; published: Aug. 17th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Real-time monitoring of temperature along the cable is very important for ensuring the safe operation. Based on the theoretical analysis of Raman back scattering of optical fiber and optical time domain reflection principle, optical fiber distributed temperature measurement system, scheme and software architecture are designed. The system is applied to the online monitoring of power cable, and good results are achieved. It provides a reliable scientific tool for the fault early warning of power cable.

Keywords

Distributed Optical Fiber Temperature Sensor, Cable Fault, Eaman Sacatting, Optical Time Domain Reflect

基于分布式光纤测温的电缆故障监测系统设计与实现

张磊, 刘代

国网东营供电公司, 山东 东营

Email: dianwangzhanglei@163.com

摘要

电缆沿线的温度实时监测是保障其安全运行的重要手段。在理论分析光纤后向拉曼散射和光时域反射原理的基础上, 设计了分布式光纤测温系统和方案和软件构架, 并将设计的系统应用于动力电缆的在线监测, 取得了良好的测试结果, 为动力电缆的故障预警提供了可靠的科学手段。

关键词

分布式光纤测温, 电缆故障, 拉曼散射, 光时域反射

1. 引言

在发电厂、变电站及厂矿企业敷设的大量动力电缆是电力系统的重要组成部分, 是生产运行所需能量的传输载体。电力电缆长期在高负荷下工作易老化破损, 进而由于局部高温引发火灾故障, 该类故障是电力系统重点预防的事故之一[1]-[3]。由于电缆大多分布在电缆沟、电缆桥架和电缆隧道内, 无法通过人工巡查实现故障的及时预防。通过分析故障发生的原因发现火灾事故的形成是温度缓慢上升、温度急剧上升、高温致燃逐渐发展的过程, 因此可以通过监测动力电缆的温度状况实现故障的及时预警。分布式光纤测温技术(Distributed Temperature Sensor, DTS)是通过将激光拉曼后向散射原理和光时域反射原理相结合实现的, 利用该技术可满足长距离、分布式和实时监测的需求[4] [5]。

本文在理论分析拉曼测温 and 光时域反射原理的基础上, 设计了分布式光纤测温的硬件和软件系统方案, 并将研制系统应用于电缆沟动力电缆的分布式监测中, 取得了良好的效果。

2. 测量原理及系统设计

2.1. 拉曼测温原理

拉曼后向散射形成波长不同且与入射激光波长对称的斯托克斯光和反斯托克斯光, 是激光注入光纤后的典型散射光类型之一。当光纤所处温度环境为 T 时, 在光纤 L 处的斯托克斯散射光功率可表示为[6]:

$$P_s = K_s S \gamma_s^4 P_e \exp[-(\alpha_0 + \alpha_s)L] N_s(T) \quad (1)$$

反斯托克斯散射光功率可表示为:

$$P_a = K_a S \gamma_a^4 P_e \exp[-(\alpha_0 + \alpha_a)L] N_a(T) \quad (2)$$

式中, K_s 和 K_a 是与产生斯托克斯和反斯托克斯散射截面有关的系数; γ_s 和 γ_a 代表散射频率; P_e 为光弹系数; $N_s(T)$ 和 $N_a(T)$ 分别为与光纤分子高、低能级上的分布数有关的系数, 均为温度 T 的函数, 可表达为:

$$N_s(T) = \left[1 - \exp\left(\frac{-h\Delta\gamma}{kT}\right) \right]^{-1} \quad (3)$$

$$N_a(T) = \left[1 - \exp\left(\frac{-h\Delta\gamma}{kT}\right) \right]^{-1} \quad (4)$$

将式(1)和式(2)做比可以得到当温度为 T 时:

$$\frac{P_a}{P_s} = \frac{K_a}{K_s} \left(\frac{\gamma_a}{\gamma_s} \right)^4 \exp\left(\frac{-h\Delta\gamma}{kT}\right) \times \exp[-(\alpha_a - \alpha_s)L] \quad (5)$$

当温度变成时 T_0 , 上式变为:

$$\frac{P_a}{P_s} = \frac{K_a}{K_s} \left(\frac{\gamma_a}{\gamma_s} \right)^4 \exp\left(\frac{-h\Delta\gamma}{kT_0}\right) \times \exp[-(\alpha_a - \alpha_s)L] \quad (6)$$

将式(6)两边取对数, 得

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} - \frac{k}{h\Delta\gamma} \ln \frac{P_a(T)P_s(T_0)}{P_a(T_0)P_s(T)} \quad (7)$$

可以看出, 利用斯托克斯散射曲线解调反斯托克斯散射曲线, 可以得到关于温度 T 的表达式, 从而求得光纤沿线各点的温度值。

2.2. 定位原理

光时域反射的工作原理如图 1 所示。脉冲光源产生的入射光经散射点后返回到检测器件这一过程光脉冲传输的路程为 $2L$, 传输的时间为 t , 则 $2L = v \cdot t$, $v = C/n$ 为脉冲光在光纤中传播速度(其中, c 为真空中的光速, n 为光纤折射率) [7]。

当时间为 t 时, 测得散光点距光源的距离为 L , 则:

$$L = \frac{1}{2} \cdot \frac{C}{n} \cdot t \quad (8)$$

即定位距离。

通过上述分析可将某位置的温度检测转换为光功率与时间的关系的建立, 在对应关系建立后可实现对沿线光纤温度的分布式测量。

2.3. 系统设计

设计系统方案如图 2 所示。系统主要包括传感光缆、高频脉冲激光模块、光波分复用模块、光电探测器及放大器、高速数据采集卡等。高频脉冲激光光源将产生的脉冲光经耦合器耦合进感温光缆, 在感温光缆中返回的后向散射光经波分复用器后得到后向反斯托克斯射光, 以及作为参考信号的斯托克斯散射光; 二者被送入雪崩二极管完成光电转换后进入放大器, 放大器对电平信号进行放大后进入高速数据采集卡, 实现信号采集, 并送入计算机进行处理。

为满足客户提出的网内信息共享功能, 保持整个系统的完整性、可维护性、安全性、可靠性, 该监测系统设计为 C/S 架构, 如图 3 所示。将开发的服务器端软件系统安装在此测温设备上, 通过与高速数据采集卡的通信, 采集各个分区所有测点的温度数据, 并将数据上传到 SQL Server 数据库中, 同时也负责为系统管理人员提供良好的人机交互界面, 以便其对系统进行必要的配置。而客户端工作站作为显示终端, 通过网络通信的方式, 与测温系统交互, 获取需要显示的数据, 实现动力电缆沿线测点信息监测, 包括温度值显示、实时曲线、历史数据查询、报警记录查询及打印等功能。

3. 实验及数据分析

将测温光缆与动力电缆紧密贴合布设与某变电站的电缆沟内, 并接入研制的分布式测温系统。现场安装如图 4 所示。测得某一时间段内的温度变化数据如图 5 所示。可以看出, 利用该系统可实时监测电

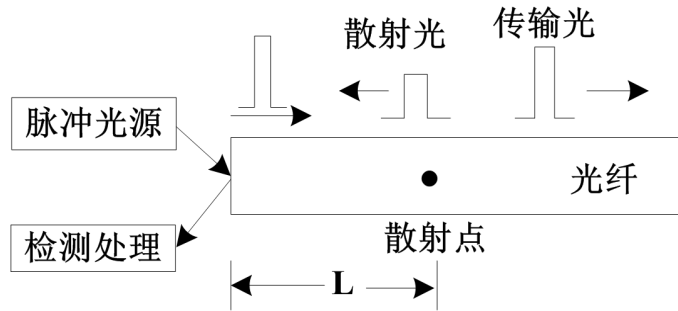


Figure 1. Operational principle of optical time domain reflection
图 1. 光时域反射工作原理

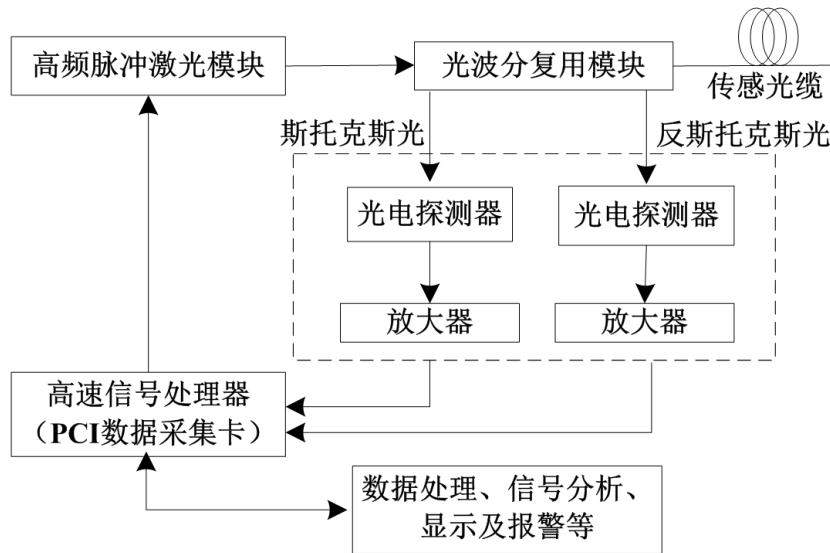


Figure 2. Scheme of distributed optical fiber temperature measurement system
图 2. 分布式光纤测温系统方案

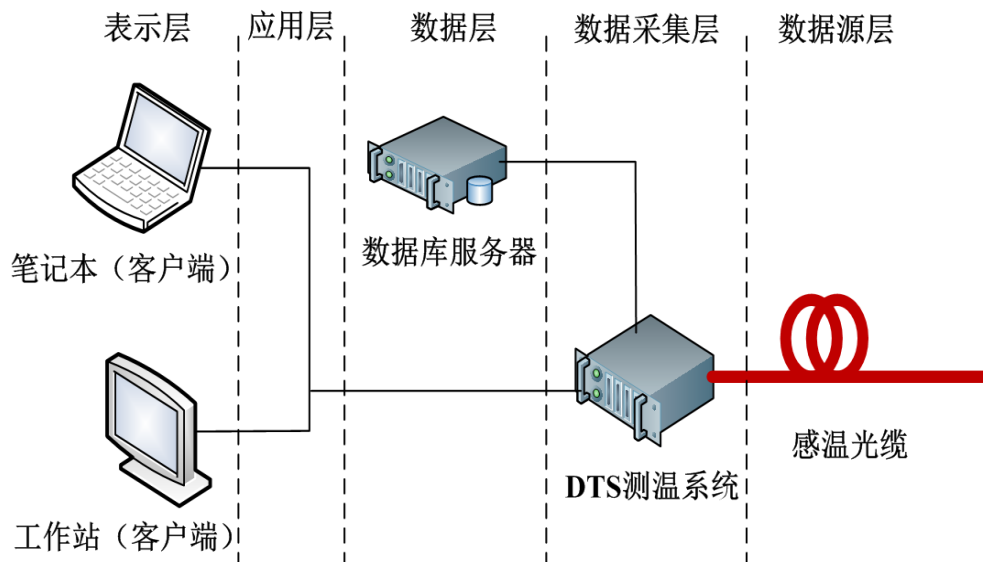


Figure 3. Software architecture of distributed optical fiber temperature measurement
图 3. 分布式光纤测温软件架构

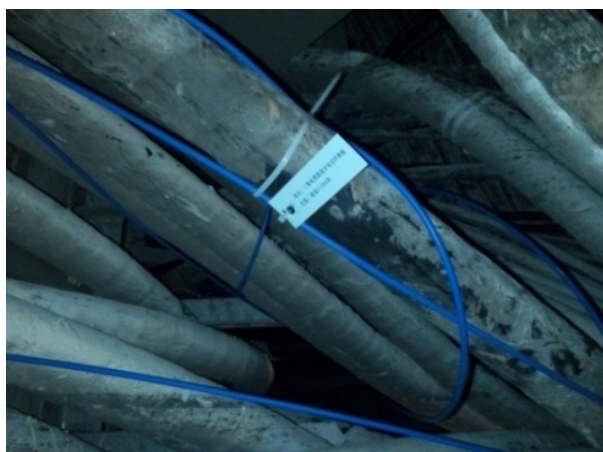


Figure 4. Field installation figure
图 4. 现场安装图

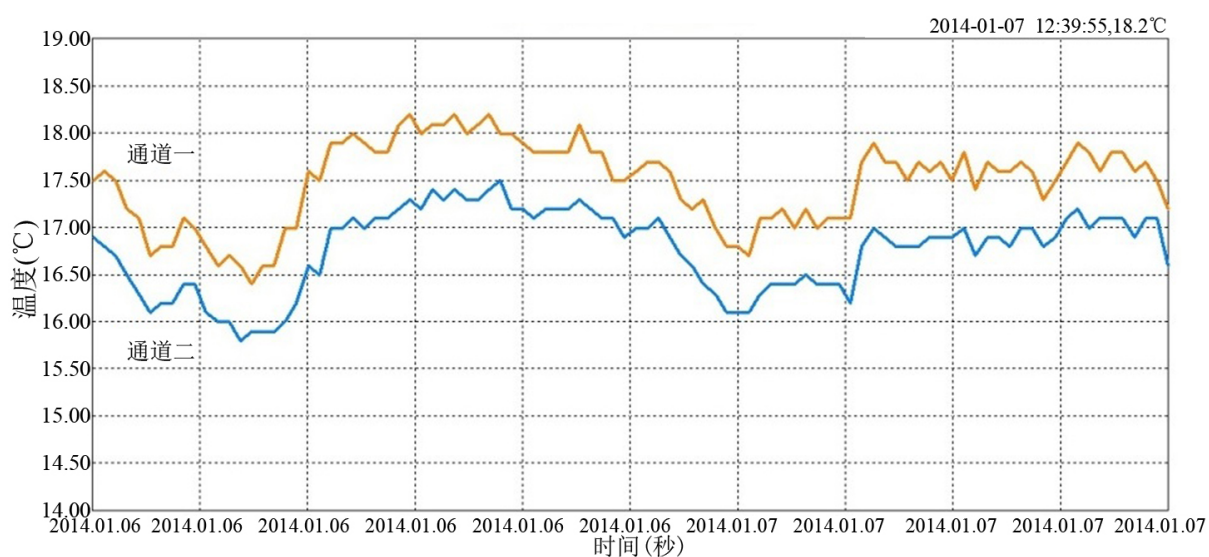


Figure 5. Real-time monitoring curve of cable temperature
图 5. 电缆温度实时监测曲线

缆温度，通过设计温度预警值，实现故障的及时预警。

4. 结论

分布式光纤测温系统能够准确的获取电缆沿线的温度信息，具有灵敏度高、响应速度快和实时监测等优势。安装简单，系统可靠，非常适合于电缆故障的在线监测与预警，对保障电力系统的安全运行具有重要的意义。

参考文献 (References)

- [1] 朱海鹏, 金钟燮. 基于多模光纤的分布式喇曼测温系统[J]. 光子学报, 2015, 44(1): 0106002-1-0106002-5.
- [2] 宋中才. 光纤分布式测温技术在人防工程火灾监控中的应用探讨[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2013, 30(2): 82-84.
- [3] 姜明顺, 隋青美, 林宗强. 分布式光纤测温系统在石油测井中的应用[J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2007(2): 29-31.

- [4] 王俊飞. 矿井采空区火灾监控系统研究[J]. 煤矿机电, 2014(6): 16-19.
- [5] 李金铸. LMS 算法在分布式光纤测温系统中的应用[J]. 电子科技, 2015, 28(9): 19-22.
- [6] 杨睿. 分布式喇曼光纤测温系统中修正测量误差的方法[J]. 光子学报, 2015, 44(10): 1006006-1-1006006-6.
- [7] Wang, W.J., Chang, J., Lv, G.P., *et al.* (2013) Wavelength Dispersion Analysis on Fiber-Optic Raman Distributed Temperature Sensor System. *Photonic Sensors*, **3**, 256-261.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>