

· 光学设计 ·

基于光纤光栅传感器的输电线路微气象在线监测系统

潘尔生¹, 郑路遥², 姜国义¹, 刘海波¹, 李涛², 张哲民³, 赵天³

(1. 国网内蒙古东部电力有限公司, 呼和浩特 010020; 2. 国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司, 武汉 430074;
3. 武汉康普常青软件技术股份有限公司, 武汉 430073)

摘要:提出了一种用于输电线路微气象在线监测的系统,该系统采用光纤光栅温湿度传感器作为传感器件。在光纤光栅表面处涂有湿敏材料后可将对湿度的感应转化为对应变的响应,再结合温度补偿,可有效测量环境温度湿度。

关键词:光纤光栅;温湿度传感器;微气象;输电线路

中图分类号:TP212.1 文献标识码:A 文章编号:1673-1255(2016)-02-0011-04

Micro-meteorological Monitoring System of Transmission Line Based on Fiber Grating Sensor

PAN Er-sheng¹, ZHENG Lu-yao², JIANG Guo-yi¹, LIU Hai-bo¹, LI Tao², ZHENG Zhe-min³, ZHAO Tian³

(1. East Inner Mongolia Electric Power Company Limited of State Grid, Hohhot 010020, China;
2. Wuhan Nanrui Co. Ltd. of State Grid Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China;
3. Wuhan Kangpu Changqing Software Technology Co. Ltd., Wuhan 430073, China)

Abstract: A micro-meteorological monitoring system for transmission line system is presented. Optical fiber grating temperature and humidity sensors are used in the system. The surface of fiber Bragg grating (FBG) is covered by humidity-sensitive materials to transfer the humidity response to the strain response. Combined with temperature compensation, the system can effectively measure the environmental temperature and humidity.

Key words: optical fiber grating; temperature and humidity sensor; micro-meteorology; transmission line

在一些特殊的地理环境会产生一些特殊的气候条件,这些特殊地方的气候环境与周边环境有明显的差别,如山谷、山峰、河流等。不可避免地,架设的输电线路经常会经过这样的地方。这些特殊的地理环境经常会影响输电线路的正常运行,甚至会严重损坏输电线路,造成巨大的经济损失。为了保证输电线路的正常运行,输电线路微气象在线监测系统应运而生。

在现有的温度-湿度传感器中,湿度参量的高精度测量比温度参量要困难得多。电容式、电阻式等电量湿度传感器,由于测量精度高、响应速度快、以

及信号易于处理和等优势,在市场中占据了主导地位,但存在着长期稳定性较低、互换性差等不足;而毛发式、干湿球式等非电量湿度传感器由于测量精度、响应速度、信号处理和等因素的制约,应用范围非常有限。考虑到FBG特有的稳定性好、抗电磁干扰能力强等优点,提出一种以FBG为基础、以改性的聚酰亚胺(PI)为湿敏材料的FBG湿度传感器。它兼有传统湿度传感器的优点,并可克服其不足^[1-4]。

基于光纤光栅传感器的输电线路微气象在线监测系统是一套针对输电线路在特殊地点的气象

收稿日期:2016-03-08

基金项目:国家电网公司总部科技项目(SG[2014], SG[2015])Science and Technology Program of SGCC(SG[2014], SG[2015])

作者简介:潘尔生(1964-),男,硕士,高级工程师,研究方向为输电线路状态监测与灾害预警。

环境监测而设计的,可监测环境温度、湿度气象参数,并将传感信号通过 OPGW 光纤传递到位于变电站处的解调设备进行解调。系统主机可对采集到的数据进行存储、统计与分析,并将所有数据通过各种报表、统计图、曲线等方式显示给用户。当出现异常情况时,系统会以多种方式发出预报警信息,提示管理人员应对报警点予以重视或采取必要的预防措施。

1 原理

由麦克斯韦经典方程结合光纤耦合理论可知,当宽带光在 FBG 中传输时,中心波长满足公式的光将被反射回来^[5],有下式

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}} \Lambda \quad (1)$$

式中, λ_B 为反射波中心波长; n_{eff} 为纤芯的有效折射率; Λ 为光栅周期。则 FBG 反射波的中心波长 λ_B 取决于纤芯的有效折射率 n_{eff} 和光栅的周期 Λ ,任何能使这两个参量发生变化的物理量都会导致 FBG 反射波中心波长的变化,通过测量反射波的中心波长偏移可达到测量外界物理量的目的。能够引起这两个参量变化最直接的物理量是应变和温度。外界应变和温度的变化可分别通过光弹效应和热光效应影响布拉格光栅纤芯的有效折射率,通过长度改变和热膨胀效应影响光栅周期。光纤布拉格光栅传感器的主要工作原理是借助于外界装置将被测参量转换为温度或应变的变化,从而使得 FBG 反射中心波长发生变化,达到检测外界物理量的目的。

2 传感器的设计

光纤光栅温湿度传感器实质上就是将光纤光栅温度传感器与光纤光栅湿度传感器集成在一起。光纤光栅湿度传感器是利用湿敏材料聚酰亚胺(PI)进行封装,将湿敏材料涂覆在光纤光栅表层,材料对湿度敏感,当湿度变化时,湿敏材料会膨胀,光纤光栅收到的应变会发生变化,改变了布拉格波长的输出量,从而实现了对湿度的测量^[6]。其结构示意图如图 1 所示。

根据热胀冷缩的原理,材料本身会受到温度的影响,所以还需将材料的热膨胀引起的波长变化量进行补偿。因此,光纤光栅温度传感器既用来测量

外界环境的温度,又可用于湿度测量时的温度补偿计算。

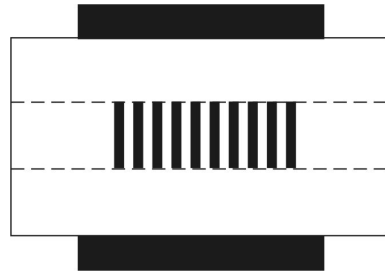


图1 光纤光栅湿度传感器结构示意图

设计传感器外形结构时,选取轻型百叶箱作为外壳,来保证箱体内部光纤光栅可适当的通风,能真正地感应外界空气温度和湿度的变化。实物如图 2 所示。

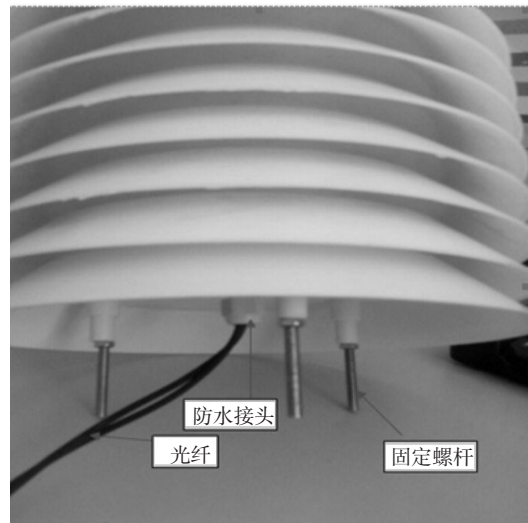


图2 光纤光栅温湿度传感器实物

3 光纤光栅温湿度测量系统

光纤光栅温湿度传感系统由光源、光环形器、传感器和光纤光栅解调模块等几个部分组成,如图 3 所示。

ASE 宽带光源发出的宽带光经光环形器 1 端口进入后由光环形器 2 端口入射到光纤光栅温湿度传感器,光纤光栅反射回来的窄带光经光环形器 3 端口进入光纤光栅解调模块,光纤光栅温湿度传感器放置在可程式恒温恒湿试验箱中,改变试验箱的温度或湿度后,通过光纤光栅解调模块检测光纤光栅中心波长的变化。

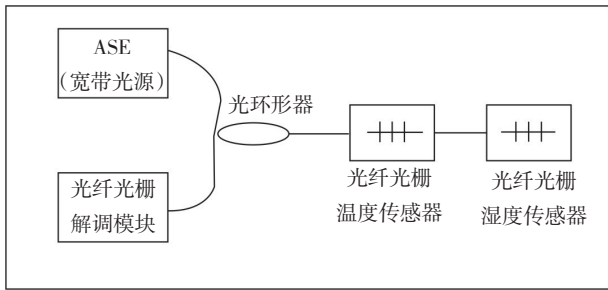


图3 光纤光栅温湿度传感系统

通过上述测量系统,对光纤光栅温湿度传感器进行了定标试验和计量实验。首先设置试验箱的温度在 35 ℃ 保持不变,湿度分别以 40%、50%、60%、70%、80%和 90% 进行试验,测试结果如图 4 和图 5 所示。这样可得出传感器中湿度光栅波长随湿度变化的系数为 2.9 pm/%RH,温度光栅对湿度不敏感。

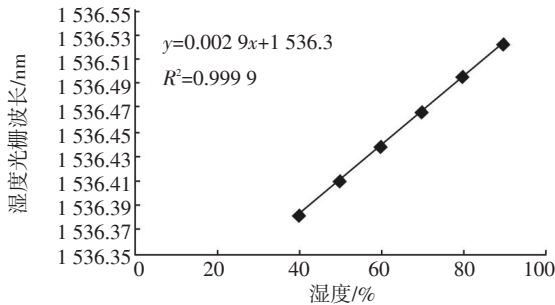


图4 温度一定时,湿度光栅随湿度的变化情况

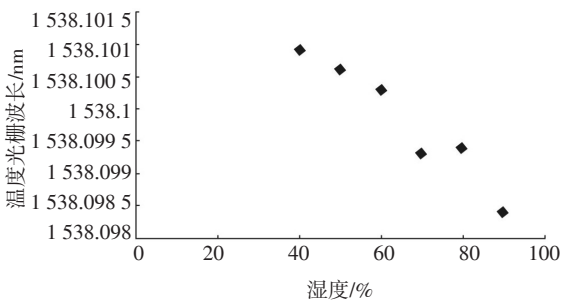


图5 温度一定时,温度光栅随湿度的变化情况

然后设置试验箱的湿度在 40%RH 保持不变,温度分别以 30 ℃、35 ℃、40 ℃、50 ℃和 60℃ 进行试验,测试结果如图 6 和图 7 所示。这样可得出传感器中湿度光栅波长随温度变化的系数为 12.1 pm/℃,温度光栅波长随温度变化的系数为 10.3 pm/℃。

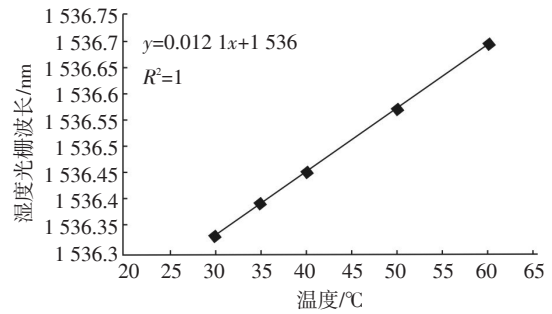


图6 湿度一定时,湿度光栅随温度的变化情况

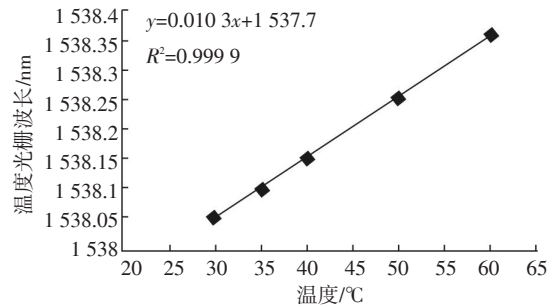


图7 湿度一定时,温度光栅随温度的变化情况

取温度为 35 ℃、湿度为 40%RH 时的波长数据为依据来给出湿度的计算公式如下

$$\text{湿度计算值} = \frac{(\lambda_{\text{湿度}} - \lambda_{0\text{湿度}})}{-1.175 \times (\lambda_{\text{温度}} - \lambda_{0\text{温度}})} \div 0.0029 + 40 \quad (2)$$

式中, $\lambda_{0\text{湿度}}$ 、 $\lambda_{0\text{温度}}$ 分别是在温度为 35 ℃、湿度为 40%RH 时湿度光栅和温度光栅的波长值。

基于上述的计算公式,又进行了计量实验。首先维持温度在 25 ℃,湿度按 43.5%、60%、80% 三个点上升,然后升温至 35 ℃,湿度按 80%、60%、40% 这三个点下降。实验数据如表 1 所示。

表1 温湿度的测试实验情况

温度	湿度	湿度波长	温度波长	湿度测量值	温度测量值	湿度测量误差	温度测量误差
25	43.5	1536.280 2	1538.001 4	45.5	24.8	4.59%	-0.80%
25	60	1536.323 7	1538.000 7	60.7	24.7	1.17%	-1.20%
25	80	1536.383 2	1538.000 3	81.4	24.7	1.75%	-1.20%
35	80	1536.499 9	1538.098 4	81.9	34.8	2.38%	-0.57%
35	60	1536.442 3	1538.100 1	61.4	35.0	2.33%	0.00%
35	40	1536.385 5	1538.100 6	41.6	35.0	4.00%	0.00%

4 挂网试运行

光纤光栅温湿度传感器已于 2015 年 5 月在浙

江某 220 kV 输电线路进行了挂网实验,其安装现场如图 8 所示。



图 8 光纤光栅温湿度传感器安装现场图

首先用设计的夹具固定好温湿度传感器,然后将整套传感器用螺栓固定在杆塔处,再用不锈钢扎带或黑色扎丝将光缆捆绑在塔杆上,注意走线尽量顺沿塔杆,要求美观、不凌乱。

5 结 论

(1)通过对光纤光栅温湿度传感器的定标试验,得出了温度补偿下的湿度测量公式,并在计量测试中得到了验证。实验结果显示,所制的 FBG 湿度传感器误差小于 5%,所制的 FBG 温度传感器误

差小于 1.5%,性能优越。

(2)文中所制的光纤光栅温湿度传感器属于无源器件,具有抗电磁干扰的优势,适合用于架空输电线路上的监测。

(3)光纤光栅温湿度传感器还会受到工艺和技术问题的影响,有待于进一步研究。

参考文献

- [1] Qiu Y Y, Azeredo L R, Aleacer J E, et al. A CMOS humidity sensor with on-chip calibration[J]. *Sensor and Actuators A*, 2001, 92:80-87.
- [2] Gerlach G, Sager K. A piezostive humidity sensor[J]. *Sensor and Actuators A*, 1994, 43:181.
- [3] 张向东,李育林,彭文达,等.光纤光栅型温湿度传感器的设计与实现[J]. *光子学报*, 2003, 32(10):1167-1169.
- [4] 丁宏伟,金永君.光纤布拉格光栅湿度传感器研究[J]. *科技导报*, 2008, 26(22):54-57.
- [5] Kersey A D, Davis M A, Patrick H J, et al. Fiber grating sensors[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1997, 15(18):1441-1463.
- [6] 金永君,李海宝,刘辉.聚酰亚胺(PI)薄膜用于光纤布拉格光栅湿度传感器的特性分析[J]. *大学物理*, 2009, 28(7):39-42.

《光电技术应用》期刊简介

《光电技术应用》期刊是中国电子科技集团公司主管,中国电子科技集团公司光电研究院主办,公开发行的学术性中文科技期刊。以光电技术为主要专业特色,传播光电技术、光电系统应用技术专业领域的先进科技信息,报道新型科技成果,推动工程技术交流,促进行业科技进步与发展。

期刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、《中文科技期刊数据库》收录期刊、《中国期刊全文数据库》全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、美国《乌利希期刊指南》收录期刊。期刊的影响因子连续几年上升,2015年入选《中国学术期刊影响因子年报》统计源期刊。

因主办单位搬迁,从即日起期刊编辑部通信地址变更为天津市空港经济区纬五道9号,邮编为300308。电话:022-59067938。投稿邮箱:aoc-cetc@vip.163.com。原邮箱nloe@vip.163.com继续使用至2016年12月31日。竭诚欢迎广大读者踊跃投稿。