

基于模拟导线的输电线路覆冰探测系统^{*}

闫泽豪¹ 葛俊锋¹ 叶林¹ 杨先进² 龚英¹ 黄中华² 苏良智³

(1. 华中科技大学自动化学院 武汉 430074; 2. 国网浙江省电力公司杭州供电公司 杭州 310009;
3. 国网浙江省电力公司检修分公司 杭州 311232)

摘要:设计了一种输电线路覆冰探测系统,该系统主要由模拟导线、光纤覆冰传感器、信号处理及采集系统组成。其中,模拟导线的直径与输电线路基本一致,安装在输电线路安全距离外,用于模拟输电线路上的覆冰情况;光纤覆冰传感器是反射及散射式光强调制型传感器,安装在模拟导线的不同位置,用于检测模拟导线上多点的覆冰情况。通过模拟导线上的覆冰情况可以预测输电线路的覆冰情况。试验表明,该探测系统具有量程大、灵敏度高、结构一体化、安装方便等优点,具有良好的应用前景。

关键词:输电线路;覆冰;模拟导线;光纤覆冰传感器

中图分类号: TN29 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.40

Transmission line ice detection system based on the simulated wire

Yan Zehao¹ Ge Junfeng¹ Ye Lin¹ Yang Xianjin² Gong Ying¹ Huang Zhonghua² Su Liangzhi³

(1. Department of Control Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;
2. State Grid Hangzhou Power Supply Company, Hangzhou 310009, China; 3. State Grid Zhejiang Electric Power Company Maintenance Branch, Hangzhou 311232, China)

Abstract: This paper introduces a transmission line ice detection system, which consists of simulation wire, fiber optic ice sensor, signal sampling and processing system. To simulate the ice conditions of the transmission line, simulation wire are installed from a safe distance of the transmission line, which sizes are same. Fiber optic ice sensors belong to reflection and reflective light intensity sensors, which installed in the different positions of simulated wire to detect the multi-points icing conditions of simulated wire. Through the icing conditions of simulated wire, the icing conditions of transmission line can be predicted. Experimental results show that the system has a good prospect and the advantages of wide measuring range, high sensitivity, structural integration, easy installation, etc.

Keywords: transmission line; icing; simulated wire; fiber optic sensor icing

1 引言

我国是世界上输电线路覆冰严重的国家之一,由于线路覆冰引发的事故发生概率居全世界前列,给国家和人民造成了巨大的经济损失^[1]。因此,研制精确、可靠以及有效的覆冰探测系统尤为重要。目前,输电线路覆冰在线监测主要采用基于力学模型的方法与视频图像法^[2]。基于力学模型的方法对数学模型的准确性及传感器的精度要求较高,微小的误差都会对计算结果造成很大影响。视频图像法则利用安装在塔架上的摄像机拍摄的图像,通过图

像的边缘特征来确定覆冰类型及厚度,实现对输电线路覆冰状况、覆冰厚度、覆冰均匀性的定性分析判定^[3]。在实际应用中,该方法对供电功率及传输带宽等要求较高,并由于实际拍摄的图像噪声较多、背景复杂、导线挥舞等情况,其通用性和可靠性不足^[4]。

本文介绍了一种基于模拟导线的输电线路覆冰探测系统。该系统通过安装于模拟导线上的光纤覆冰传感器来检测模拟导线上的覆冰情况,进而预测输电线路的覆冰情况。该探测系统具有量程大、灵敏度高、结构一体化、安装方便等优点,具备测量冰厚及区分冰型能力,为输电电

收稿日期:2016-02

^{*} 基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2010QN046)

路覆冰探测以及融冰、除冰提供重要的信息依据,具有良好的应用前景。

2 覆冰探测原理

目前,国内外学者建立了诸多输电线路覆冰预测数学模型。典型的数学模型有 Imai 模型、Lenhard 模型、Goodwin 模型、Chaine 模型和 Makkonen 模型,国内有刘和云提出的简单覆冰预测模型等^[5]。

输电线路覆冰最常见情况是在迎风面上增长并形成堆积,且冰在迎风面上堆积随着气流线的扭曲逐渐减少。假设输电线路是处于均匀层流式气流场中的圆柱体,并忽略绞线引起表面粗糙的影响,气流的方向与输电线路轴线方向垂直,且冰在输电线路迎风面生长,可得单位时间内单位长度输电线路的积冰量为:

$$\frac{dM}{dt} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \cdot \omega \cdot R \cdot V \quad (1)$$

式(1)给出了覆冰的基本物理原理,该方程也被称为马克南姆模型^[6],通过此方程即可求出导线上的覆冰量或覆冰厚度。式中: α_1 为碰撞率; α_2 为捕获率; α_3 为冻结系数; dM 为 dt 时间产生于导线的覆冰量; ω 为空气中液态水含量; R 为圆柱体的半径; V 为风速。碰撞率、捕获率及冻结系数的取值范围均在 0~1 之间^[7]。

由马克南姆模型可以得出:在输电线路的附近,紧挨着输电线路又不影响输电线路正常供电的位置,安装一个跟输电线路的直径、材质以及表面状态基本一致且安装方向与输电线路平行的模拟导线,以确保马克南姆模型中的 α_1 、 α_2 、 α_3 、 d 、 ω 、 V 、 R 均基本一致,从而使得在模拟导线上单位长度的覆冰情况与输电线路单位长度的覆冰一致。保证模拟导线直径,所处环境的空气温度、风速、降水率,风与导线的夹角,覆冰持续时间一致。因此,可以利用模拟导线上的覆冰信息来预测输电线路的覆冰状况。

3 覆冰探测系统简介

本系统由模拟导线,光纤覆冰传感器,温度传感器,信号处理及采集电路以及 3G 模块,机箱,加热丝组成。输电线路覆冰探测系统结构如图 1 所示。

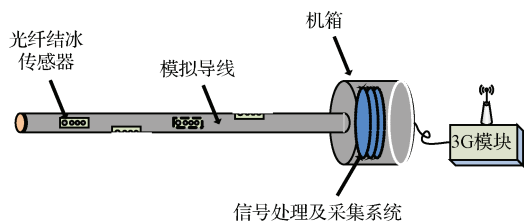


图1 输电线路覆冰探测系统结构

模拟导线可方便地安装于输电系统的杆塔上。安装时应确保其位于塔架的安全距离之外,且与输电线路处于相同的环境中,特别是安装方向需与输电线路方向一致。

模拟导线直径与输电线路直径一致,其上安装有 4 个光纤覆冰传感器,位于模拟导线轴线上的“3”、“6”、“9”和“12”点钟部位,保证在不同风向上的覆冰都能被检测到,并且模拟导线表面做了喷砂处理,使水滴更加容易吸附上去。机箱内是信号处理及采集电路。模拟导线的杆头、杆壁、杆内和机箱内均有安装 PT100,用于测量模拟导线和系统附近的温度。配合模拟导线内部密绕的加热丝,根据实际输电线路的温度智能调节模拟导线的温度,使模拟导线达到更逼真实际输电线路工作状态的效果。本系统通过 RS485 与 3G 模块通信,再经 3G 模块与控制终端进行通信,从而实现数据传输和客户终端的控制功能。

4 光纤覆冰传感器

光纤覆冰传感器是一种反射及散射式光强调制型传感器。红外发射管发射的光经发射光纤传输,到达探测面^[8]。当探测端面无积冰时,发射光直接射入空气,接收光纤端面接收不到任何发射光。当探测面上有积冰时,光在冰层内发生一系列光学作用,如反射、散射、透射、吸收等,其中冰层-空气界面的反射光以及在冰层内的散射光进入接收光纤。接收光纤接收到的光,经光电探测器及相应的信号处理电路,得到与接收光信号的强度及变化趋势相对应的电信号,通过处理电信号达到测量冰厚的目的^[9]。如图 2 所示,探头的接收光纤的分布模式采用并排式的分布形式,光纤覆冰探测传感器由一个红外发射管、3 个光电接收管加上导光光纤以及金属部件构成。3 个光电接收管依次排开,1 号、2 号接收管用于接收反射和散射回的红外光,获取覆冰信息。而 3 号接收管接收的信号主要用于与前两路进行差分,去除环境光等因素的干扰。根据这两个接收管接收的信号,即可判断传感器表层是否覆冰及冰厚情况,再根据模拟导线覆冰与输电线路覆冰的相关性,即可获得输电线路实际的覆冰情况。

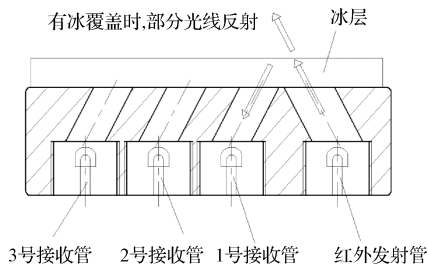


图2 光纤覆冰传感器原理

本文提出的光纤覆冰传感器与其他光纤覆冰传感器在结构上有较大区别,即发射和接收光纤束均是集成在探测杆内,且与探测杆表面齐平,导光光纤各自有一定的斜度角。另外,对覆冰厚度的量程范围也可方便地调整并实现较大覆冰厚度的检测。如图 3 所示为光纤覆冰传感器

结构简要示意。其中1为传感器壳体,2、3、4为接收光纤,5为发射光纤。调整发射光纤束5和最近的接收光纤束(接收光纤束2)之间的距离 L ,就能实现不同最小覆冰厚度的检测;调整接收光纤束4与发射光纤束5的距离 M ,就可实现不同最大覆冰厚度的检测。这样,就可实现一个很大范围的覆冰量程的检测。

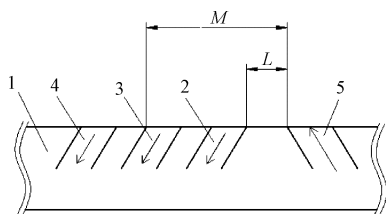


图3 光纤覆冰传感器结构简要示意

5 信号处理及采集电路

信号处理及采集电路包括信号处理模块、信号采集模块及信号分析模块组成。

信号处理模块由差分放大、锁定放大、有源低通滤波组成。考虑到模拟导线上有4个相同的覆冰传感器,部分信号处理模块可以共用,因此使用模拟开关分时复用。将其中一个传感器的1、2、3号接收管检测到的信号差分,1、3号和2、3号接收管信号差分,得到两路差分后的有用信号,然后将此两路信号经过差分放大、锁定放大、有源低通滤波等信号处理。经信号处理电路以后,将两路信号通过信道复用开关传输至AD采集模块,同时下位机采集4个不同部位的温度信号。之后,下位机系统再把采集到的信号经处理后通过RS485通信与发射站通信,发射站端通过3G网络把数据传输至服务器端^[10]。同理其他3个覆冰传感器的信号经过同样的处理之后,进行传输。如图4所示为信号处理及采集系统结构。

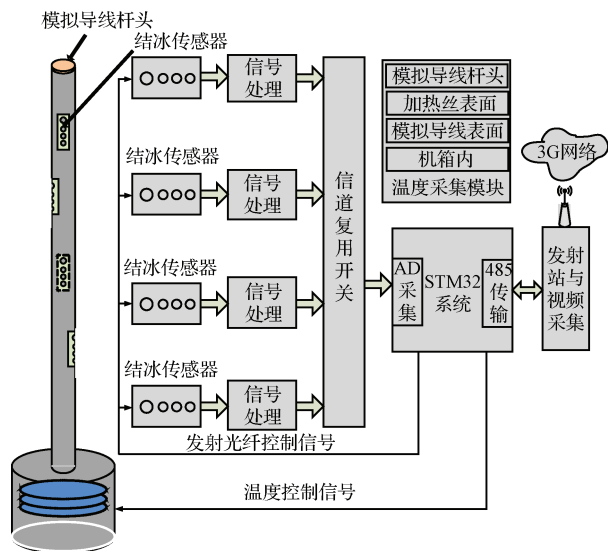


图4 信号处理及采集系统结构

6 实验验证及分析

实验平台由恒温箱、喷水系统,测温显示装置、示波器、软硬件采集系统等组成。实验时,先将传感器置于恒温箱内,然后改变恒温箱的温度至 -28°C ,喷水系统再通过用喷水装置正对着光纤覆冰传感器进行喷水,喷水时间在5 s左右,这样传感器在低温环境下就会发生覆冰。上位机负责控制喷水系统及实时采集处理覆冰数据,提供人机交互界面。如图5所示为实验环境。

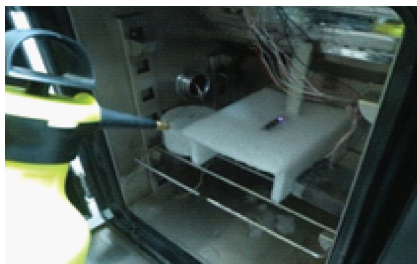


图5 实验环境

覆冰过程中传感器测量数据变化曲线如图6所示,由曲线可知随着冰厚度的增加,测量所得的电压明显增加,因此,光纤覆冰传感器标定后完成后,通过两路电压值即可推算出覆冰厚度。

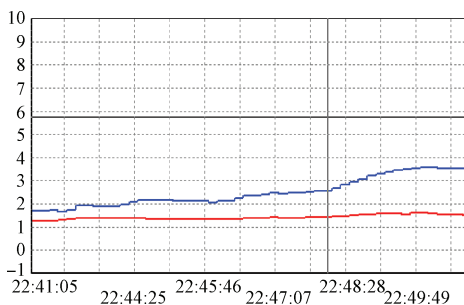


图6 覆冰测量数据变化曲线

经过多次重复实验,结果表明:随着冰层从无到有,从薄变厚的过程,1号接收管的信号先逐渐增强再趋于恒定,而2号接收管的信号变化延迟一段时间,变化趋势和1号接收管一样,与理论计算的变化趋势一致。冰厚在15 mm范围内,本系统的光纤传感器都有信号响应,验证了此传感器具有量程宽、灵敏度高的特点。如图7所示为本系统在杆塔上运行效果示意。

7 结论

本系统采用光纤覆冰传感器结合模拟导线,在对输电线路没有干扰的情况下,对输电线路覆冰情况进行实时检测。试验表明,本系统具有量程大、灵敏度高、测量结果稳定可靠的特点。此外,本系统还具有结构一体化、安装方便等特点,具备测量冰厚及区分冰型能力。通过试验标定

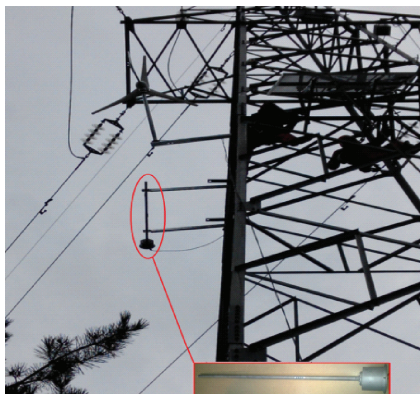


图7 本系统在杆塔上运行效果示意

模拟导线与输电线路的覆冰厚度之间的数学模型,可求出输电线路的覆冰厚度。实际使用时可在易覆冰区域的输电线路系统上安装多个此探测系统,同时结合气象参数综合分析输电线路覆冰情况,以及对某一地区的输电线路覆冰进行分析。因而具有良好的应用前景,目前此系统正逐步进入应用阶段。

参 考 文 献

- [1] 王黎明,李海东,梅红伟,等. 输电线路覆冰在线监测系统国内外研究综述[J]. 高压电器, 2013, 49(6): 48-56.
- [2] 王森,杜毅,张忠瑞. 无人机辅助巡视及绝缘子缺陷图像识别研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(12): 1862-1869.
- [3] 李立涅,阳林,郝艳捧. 架空输电线路覆冰在线监测技术评述[J]. 电网技术, 2012, 36(2): 237-243.
- [4] 黄新波,孙钦东,程荣贵,等. 导线覆冰的力学分析与覆冰在线监测系统[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(14): 98-101.
- [5] 刘春城,刘佼. 输电线路导线覆冰机理及雨淞覆冰模型[J]. 高电压技术, 2011, 37(01): 241-248.
- [6] MAKKONEN L. Modeling of ice accretion on wires[J]. Journal of Applied Meteorology, 1984, 23(6): 929-939.
- [7] 蒋兴良,易辉. 输电线路覆冰及防护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [8] 林伟,马新春. 便携式光通信综合测试仪的研制[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(5): 43-47.
- [9] 周灿,葛俊锋,叶林,等. 飞机过冷大水滴结冰探测器设计及试验[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(10): 2213-2218.
- [10] 雷爱强,赵昕,乔立岩. 基于插入帧机制的串行通信模块设计[J]. 电子测量技术, 2014, 37(11): 132-135.
- [1] 王黎明,李海东,梅红伟,等. 输电线路覆冰在线监测系统国内外研究综述[J]. 高压电器, 2013, 49(6): 48-56.
- [2] 王森,杜毅,张忠瑞. 无人机辅助巡视及绝缘子缺陷图

(上接第58页)

- [5] 郑晓庆,杨日杰,杨立永,等. 多路输出 DC-DC 电路设计[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(9): 31-33.
- [6] 贾正松,罗凌,余青松. 基于 TL494 升压型 DC-DC 稳压电源的设计[J]. 兵工自动化, 2014, 33(6): 86-89.
- [7] 江超,闻长远,王雨曦,等. 一种基于 TL494 Boost 型 DC-DC 电源设计[J]. 通信电源技术, 2009, 26(4): 39-41.
- [8] 陈洁. 基于推挽式结构的开关电源设计[J]. 机械制造与自动化, 2009(4): 170-173.
- [9] 夏涛,吴云峰,王胜利,等. 基于功率 MOSFET 的高压纳秒脉冲源研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(12): 1852-1861.
- [10] 田冠枝,黄玉平,司宾强. 新型 PWM 波故障保护与诊断电路设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(9): 125-127.
- [11] BABAEI E. A new pulse width modulation technique for inverters[J]. Arabian Journal for Science and En-

作 者 简 介

闫泽豪, 1989 年出生, 男, 河南许昌人, 华中科技大学硕士研究生, 主要研究方向为检测技术与自动化装置。
E-mail: yanzehao19@163.com

gineering, 2014, 39(8): 6235-6247.

- [12] LIAW C M, LIN Y M, WU C H, et al. Analysis, design, and implementation of a random frequency PWM inverter[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2000, 15(5): 843-854.
- [13] 何乃龙,沙奕卓,行鸿彦. 新型 PWM 波故障保护与诊断电路设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(6): 92-96.
- [14] 郭红霞,刘磊. 基于 PID 控制算法的自动取暖控制器的设计[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(2): 29-32.

作 者 简 介

陈涛(通讯作者), 1984 年出生, 工学博士, 主要研究方向为自动测试与控制系统、太赫兹检测技术等。
E-mail: tchen@guet.edu.cn