

双模式电力光纤线路状态监测系统设计

陈晓娟¹,王山岭¹,窦增²

(1.长春理工大学 电子信息工程学院,长春 130022;2.国网吉林省电力有限公司 信息通信公司,长春 130021)

摘要:针对现有光纤线路管理设备存在功能单一、不能满足光纤通信线路在线管理、实时检测等问题,提出一种双模式光纤线路在线监测系统设计方案。该系统通过光开关、WDM等光器件与FPGA及上位机相结合,能独立完成电力系统光纤线路工作状态在线监测及故障检测,并针对不同电力数据传输情况设计了有光工作光纤、无光备用光纤两种工作模式,满足不同用户监测需求。实例验证结果表明:双模式光纤线路在线监测系统实现了光纤状态的实时监测且背景噪声对监测结果无影响;与试验线路现用光纤管理系统相比较,故障定位误差低于 $\pm 2\text{m}$;其定位精度随着距离的增加基本趋于稳定,误差百分比保持低于0.2%。

关键词:双模式;光纤线路;状态监测;故障定位

中图分类号:TN929.11 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2019)01-0024-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.01.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design of dual mode power optical fiber line condition monitoring system

CHEN Xiaojuan¹, WANG Shanling¹, DOU Zeng²

(1. Changchun University of Science and Technology Electronic and Information Engineering, Changchun 130022, China;

2. Information and Communication Company, State Grid Jilin Electric Power Co., Ltd., Changchun 130021, China)

Abstract: Aiming at the problems that the existing optical fiber line management equipment has a single function and can not meet the online management and real-time detection of optical fiber communication lines, this paper proposes a design scheme of dual-mode optical line online monitoring system. The system combines optical switches, WDM and other optical devices with FPGA and host computers to independently perform on-line monitoring and fault detection of power system optical line operating states, and according to different power data transmission conditions, there are two working modes of optical working fiber and matt standby fiber to meet the monitoring needs of different users. The case study shows that the dual-mode optical line online monitoring system realizes real-time monitoring of the state of the fiber and the background noise has no effect on the monitoring result, compared with the current fiber management system of the test circuit, the fault location error of the dual-mode optical line online monitoring system is less than $\pm 2\text{m}$, and the positioning accuracy tends to be stable with the increase of the distance, the error percentage remains below 0.2%.

Key word: dual mode; optical fiber line; condition monitoring; fault location

0 引言

近年来,光纤通信已经渐渐成为现代通信系统中

的一种主要通信方式。由于光纤具有容量大、低损耗、高传输率和传输距离远等优点,在电力系统通信中的应用也越来越广泛^[1]。因此,电力光纤的健康状态会直接影响输配电系统的稳定性。而现有光纤线路管理设备多数只提供监测或检测等单一功能,即使同时提供监测与检测功能,也是当监测到光纤线路出现故障时,将光纤线路断开才能完成线路检测,不能实现对电力光纤的实时在线监测和管理。鉴于以上不足,本文提出一种双模式电力光纤线路状态监测系统,为电力系统光纤线路管理提供具有有光工作光纤、无光备用光

收稿日期:2018-09-09。

基金项目:吉林省长春市科技局资助。

作者简介:陈晓娟(1970-),女,吉林九台人,博士,教授,中国电子学会高级会员、中国电机工程学会高级会员、吉林省机器人学会常务理事。主要研究方向为模拟电路及半导体的低频噪声检测、光纤线路在线检测、生物信号处理。负责完成和即将完成的省部级、国家级项目16项;获省部级科技进步三等奖2项、自然科学学术成果三等奖2项。



纤两种模式的在线监测方案,并实现 8 路光纤线路双模式在线监测。

1 系统整体设计

本文设计的双模式电力光纤监测系统是基于型号为 EP4CE15F23C8N 的 FPGA 与上位机结合的智能光纤监测系统。系统安装位置示意图如图 1 所示,该系统放置在两个光端机中间部分,并由 WDM 接入光纤线路,实现对光纤线路的实时在线监测;监测系统设备将监测信息实时传输到上位机,同时上位机实现对监测设备的实时控制。

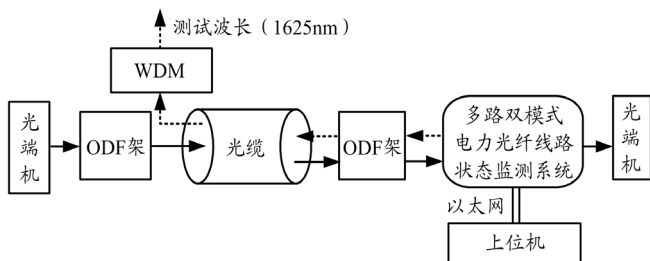


图 1 系统安装位置示意图

1.1 双模式 8 路监测

双模式电力光纤监测系统可以实现对 8 路光纤线路的监测,每路监测设计一个板卡单元且每个板卡单元相互独立选择监测模式及模式间的自由切换,其系统设计示意图如图 2 所示。该系统主要由 FPGA、光开关、分光器、光功率计以及光时域反射仪(OTDR)^[2]组成。另外,还需要在电力系统通信前端放置 1 个波分复用器(WDM)用以消除 OTDR 检测时输入的不同于通信波长的测试光^[1]。

本系统的工作模式 1 为有光工作光纤监测模式。针对电力光纤通信线路中有通信业务传输的工作纤芯通过光接口接入本系统,与 WDM 相连,将原通信光分成通信光(95%)和监测光(5%)来实现不影响通信业务的正常传输,然后利用光功率计实现对光功率值

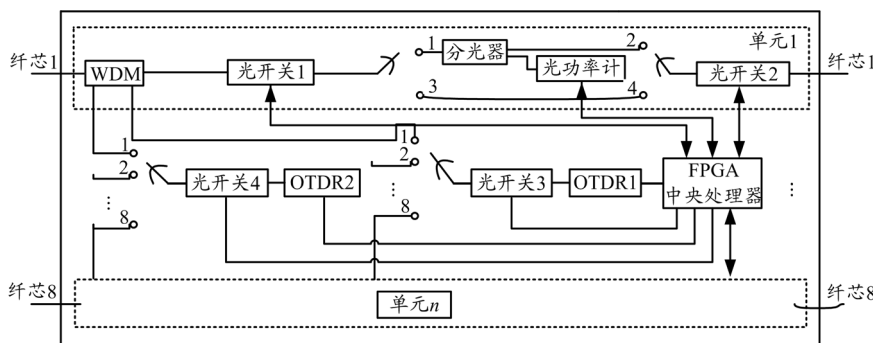


图 2 系统设计示意图

的在线监测。利用 FPGA 分析光功率计上的光功率值和系统提前设定的光功率阈值门限,当系统在某一时刻检测到光功率值低于阈值,则 FPGA 发出命令启动 OTDR1,OTDR1 的测试光通过 WDM 被耦合到被测纤芯内,获取被测光纤的光功率曲线数据,并将获得的光功率曲线数据上传至上位机,进而实现该路光纤线路的在线故障检测。若 FPGA 接到多路纤芯光功率值低于阈值,则 FPGA 控制光开关对报警纤芯通道轮循接通,实现故障线路的轮循检测。

工作模式 2 为无光备纤监测模式。来自光端机不包含数据的纤芯通过光接口接入本系统,与 WDM 相连。FPGA 控制光开关实现系统光路在该模式下的正常连通。FPGA 启动 OTDR2 通过 WDM 向该条纤芯内定时耦合测试光,获取光功率数据曲线,并将该数据上传至上位机,将测试光功率曲线与提前设定好的光功率标准曲线进行差异对比分析,实现该条纤芯状态的在线检测,进而实现该路光缆线路状态监测与检测。

1.2 两种工作模式的自动监测方法

根据电力系统光纤线路状态的在线监测和检测的不同需求,本监测系统运用了光开关、分光器和 OTDR 等器件,提供工作光纤监测模式和备用光纤监测模式。在工作光纤监测模式下, FPGA 控制光开关 2 选择光路 2,当第 $i(i=1,2,3,4,5,6,7,8)$ 条光纤的光功率值低于阈值时, FPGA 控制光开关 3 连通第 $i(i=1,2,3,4,5,6,7,8)$ 条光纤并启动 OTDR1 进行光纤故障检测。当出现 $k(2 \leq k \leq 8)$ 条光纤光功率值均低于阈值时, FPGA 控制光开关 3 对这 k 条光纤轮番接通,实现故障线路的轮番检测。在无光备纤监测模式下, FPGA 控制光开关 1 选择光路 3 且光开关 2 选择光路 4 实现该模式下无光备纤线路的连通,然后 FPGA 控制光开关 4 选择第 $j(j=1,2,3,4,5,6,7,8)$ 条光纤线路,并启动 OTDR2 向光纤内定时耦合测试光,获取光功率曲线数据,实现无光备纤模式下的光纤监测。

2 系统硬件设计

根据双模式电力光纤监测系统需要实现的功能,本文设计其系统硬件结构图如图 3 所示。硬件模块主要有 FPGA、光功率采集模块、OTDR 模块、光开关模块和电源模块。中央处理器 FPGA 选用的型号为 EP4CE15F23C8N;光功率采集模块采集监测光纤线路的光功率数值,并把采集的数据传输到

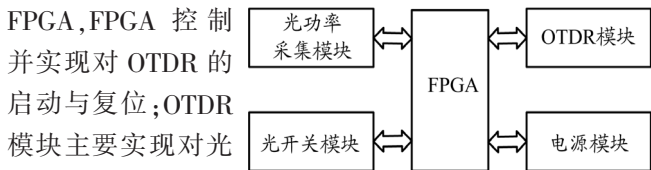


图3 系统硬件结构图

FPGA, FPGA 控制

并实现对 OTDR 的

启动与复位;OTDR

模块主要实现对光
纤线路故障点的检
测;光开关模块主
要实现对相应光纤线路的切换。

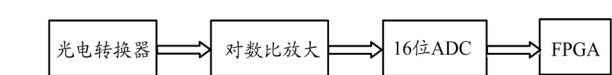


图4 光功率采集模块示意图

2.2 电源模块

设备外部供电电源提供 5V 直流电压, 本系统需使用的直流稳定电压为 +5V、+3.3V 和 +2.5V, 其中 +3.3V 电源为 EP4CE15F23C8N 及部分外围器件提供所需的直流电压, 部分器件需要 +5V 电源。因此, 电源模块使用 LM1117-3.3 芯片和 LM1117-2.5 芯片对 +3.3V 电压和 +2.5V 电压进行转换^[1]。

2.3 光开关模块

本系统主要通过 4 个机械式光开关(光开关 1、光开关 2、光开关 3 和光开关 4)来完成 8 路光纤线路的状态监测和工作模式切换, 根据系统数据位的变化, 光开关会切换到相应通道。

3 系统软件设计

本系统采用图形化编程语言(G 语言)进行编程, 采用模块化的软件设计思想来编写, Labview 程序框图由初始化设置模块、数据采集模块和数据分析模块 3 部分组成。初始化设置模块包括对系统的初始化和对 OTDR 初始参数的设置;数据采集模块包括光功率计数据采集、OTDR 数据采集和告警数据采集;数据分析模块的功能主要是分析 OTDR 采集到的光功率数据曲线, 进而定位线路故障点位置^[3-5]。系统上位机软件设计流程图如图 5 所示。

4 实例验证

为了验证系统硬件设计的可行性及系统故障定

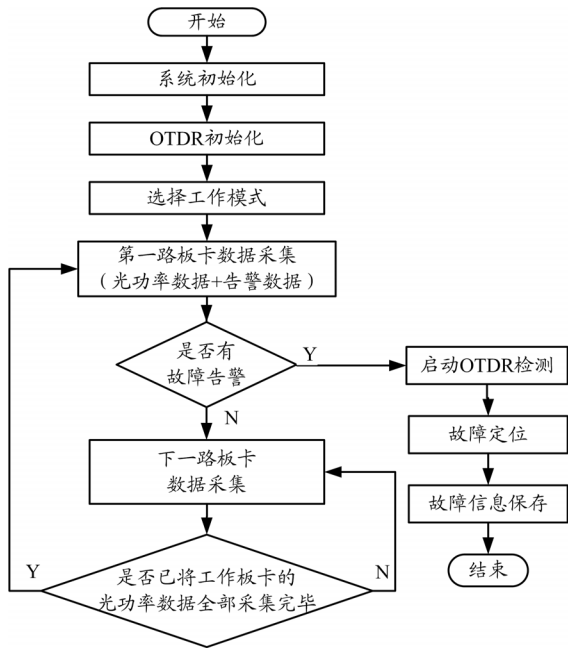


图5 系统总体流程图

位性能, 本文选择吉林省长春市供电局某线路(全程 70.15km)进行了试验运行监测。

考虑内部光功率损耗, 本系统理论上最远监测光缆长度可达 100km^[6]。在系统实际运行测试中, 从监测模块触发信号启动测试开始至上位机得出分析结果时间不大于 5min, 从故障发生开始至上位机显示告警信息能够在 1min 以内完成^[7,8]。

为了达到较好的试验效果, 系统监测了 20 天内该条线路状态, 光功率计每 5min 测量一次光功率值, 上位机每隔 2h 采集一次平均光功率值, 实现光功率数据的采集, 监测得到的光功率数据(单位为 W)如图 6 所示。采用噪声测试仪得到的系统背景噪声功率数据如图 7 所示。结合图 6、图 7 可知, 系统噪声功率量级(10^{-9})远远

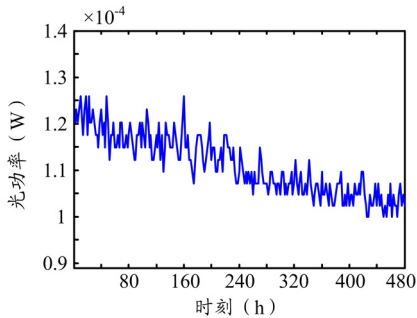


图6 光功率数据(W)

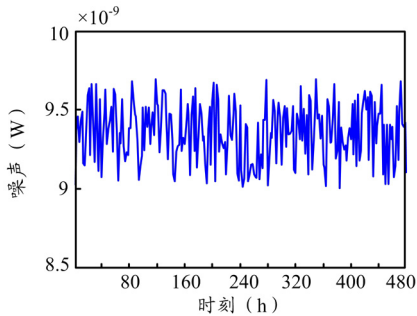


图7 系统背景噪声数据

小于光功率量级(10^{-4}),因此,本系统所产生的背景噪声不会影响系统数据的采集与分析,系统性能良好。

本文对距离通信机房 25.00km 处的熔接点进行人为破坏,再分别用所设计的双模式电力光纤系统与试验线路现用光纤管理系统(TMS200 系列光缆自动监测管理系统)进行多次故障定位,情况如图 8 所示。可以看出,本系统对线路故障定位准确度较高,且多次测量故障点(上下浮动 $\pm 5\text{m}$)较现用系统多次测量故障点(上下浮动 $\pm 10\text{m}$)更加稳定,这表明相比于现用系统,本系统故障定位准确度更高,性能更好。

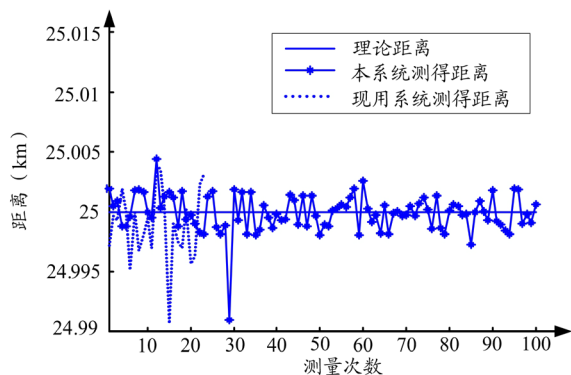


图 8 系统故障定位准确度比较

由于光纤熔接点处存在光功率损耗(相当于存在故障),因此可以通过检测定位光纤熔接点来验证系统故障定位的精度。故障定位精度用最大误差占真实值的百分比来表征,即:

$$\delta = \left| \frac{L_{\max} - \bar{L}}{\bar{L}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

其中, δ 为系统故障定位误差; $\bar{L}$ 为光纤熔接点距通信机房的真实距离; $L_{\max}$ 为系统多次检测与真实距离相差最大的距离值。由式(1)可知,故障定位误差 δ 值越小,故障定位精度越高。

现利用本系统与现用系统对该条线路上的 5 处光纤熔接点(分别在距离通信机房 8.76km、19.99km、25.00km、52.20km 和 67.54km 处)进行 50 次定位,并分别计算系统故障定位误差 δ ,结果如图 9 所示。可以看出,随着熔接点距通信机房距离增加,本系统定位误差趋向平缓,现用系统定位误差趋向上升,即本系统故障定位精度基本不会随着故障点距离的增加而降低,优于现用系统。

以上实验结果表明:本系统背景噪声对光缆线路状态监测结果无影响,系统硬件设计满足相关行业指标要求;本系统与试验线路现用光纤管理系统相比较,故障定位误差低于 $\pm 2\text{m}$,定位更加准确;定位精度随着

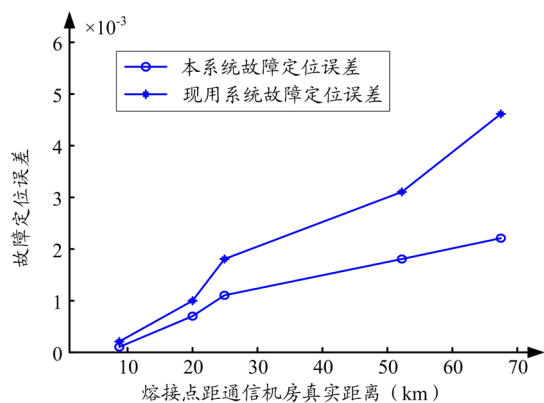


图 9 随着距离变化系统故障定位精度比较

距离的增加基本趋于稳定,误差百分比一直保持低于 0.2%,系统性能良好。

5 结束语

随着电力光缆传输能力和传输质量的不断提高,现代通信对光缆传输网络的依赖程度越来越高,对电力光纤线路维护管理质量也随之提出了更高的要求^[7]。本文根据这种要求,在综合考虑了不同用户的需求和系统成本后提出了一种双模式电力光纤线路在线监测系统,解决现有光纤线路管理设备存在功能单一而不能满足光纤通信线路管理、检测需要断开线路而导致通信中断等问题。本系统的应用能够使线路故障排除时间缩短一半,使电力光纤线路实现自动实时在线检测与故障定位,极大地减少了因巡检所产生的费用;系统对线路的实时在线监测,改变了以往的线路维护模式,全面提高了电力光纤通信网的运行水平,有显著的经济效益。

参考文献:

- [1] 陈晓娟,郑国男. 三种工作模式自由切换的电力光纤监测系统[J]. 光通信技术,2015,39(12):41-44.
- [2] 梁爽,王怀江. OTDR 事件分析和故障判断的研究与实现[J]. 光通信技术,2007,31(1):49-51.
- [3] 陈晓娟,徐梦,赵亮,等. 基于改进 Elman 神经网络的光功率预测方法[J]. 光通信技术,2016,40(8):12-14.
- [4] 姜万昌,杨咏,隋吉生. 基于小波变换的 ARMA-RBF 光功率组合预测[J]. 光通信技术,2013,37(12):29-31.
- [5] 陈晓娟,李思洋,王圣达. 基于自适应粒子群优化的 ARIMA-SVM 光功率趋势预测[J]. 光通信技术,2015,39(4):22-25.
- [6] 刘钰. 结合小波去噪与 GIS 地图的光缆故障定位 [J]. 光通信技术,2014,38(10):60-62.
- [7] 郭利超,马朝霞,周云峰. 通信光缆监测管理一体化平台设计与实现[J]. 计算机测量与控制,2012,20(8):2213-2216.
- [8] 范雨辰. 基于 OTDR 的光纤实时监测系统设计与实现[D]. 杭州:杭州电子科技大学,2015.