

基于 OTDR 的光纤回路在线监测技术研究

黄鸣宇

(国网宁夏电力公司电力科学研究院, 宁夏 银川 750011)

摘 要: 针对智能变电站中光纤二次回路配置、监测等问题, 通过分析光时域反射仪(Optical Time Domain Reflectometer, OTDR)的工作原理和工作特征, 提出了基于 OTDR 技术的智能变电站二次光纤链路在线监测的整体设计解决方案。结果表明: 全站整体设计方案能使智能变电站内通信内容的采集方式更加合理, 通信过程的监视完全符合真实情况, 提高了智能变电站内通信过程的在线监视的真实性, 完善了智能变电站二次状态监测功能。

关键词: 智能变电站; 光纤链路; OTDR; 在线监测

中图分类号: TM714 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-3643(2014)03-0009-05

有效访问地址: <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1672-3643.2014.03.003>

Study on optical fiber chain circuit online monitoring technology based on OTDR

HUANG Mingyu

(Power Science Research Institute of State Grid Ningxia Power Co., Yinchuan Ningxia 750011, China)

Abstract: Aiming at the problems of configuration and monitoring for optical fiber secondary chain circuit in smart substation, by analyzing the principle and characteristic of Optical Time Domain Reflectometer (OTDR), puts forward the overall design scheme of optical fiber secondary chain circuit online monitoring for smart substabion based on OTDR. The result shows that the scheme makes collection mode of inner communications content of smart substabion in reason, communication monitor accord with fact, improves facticity of online monitoring for inner communications process in smart substabion, perfects the function of secondary state monitoring of smart substation.

Key words: smart substation; optical fiber chain circuit; OTDR; online monitoring

DOI: 10.3969/j.issn.1672-3643.2014.03.003

随着智能变电站的推广应用, 网络通信替代了传统变电站的二次回路, 由直观电缆连接变成

了看不见摸不着的网络通信。随着电子式互感器和智能终端的广泛应用, 二次系统的采样和控制

收稿日期: 2014-02-21

作者简介: 黄鸣宇(1980)男, 高级工程师, 工程硕士, 从事电力系统自动化及智能电网工程技术和科研开发工作。

实现了数字化,网络通信已成为智能变电站自动化系统的关键。由于光纤在传输信息时使用光信号而不是电信号,所以光纤传输的信息不会受到电磁干扰的影响,而且光纤功率损失少,传输衰减小,保密性强,并有极大的传输带宽,因此,光纤在智能变电站内被广泛使用。

1 问题的提出

1.1 典型应用及问题

图 1 所示为 1 个典型 220 kV 双母线设计的智能变电站二次光纤回路接线图,全站配备有 MU1—MU8 共 8 组合并单元。

在国网智能变电站直采直跳(即点对点)的模式下,合并单元给每个需要采样信息或通信信息的 IED 设备独立提供 1 个物理通道,如图 1 中 MU1 的信号分别通过 4 路独立的光纤通道送往第 1 套线路保护、计量设备、测控装置以及第 1 套母差保护等 4 个装置。相应的问题也就随之而来,4 路光纤通道相互独立,没有办法和手段来确认独立通道内传输的通信信息和通信过程完全一致,

有可能母差保护的通信内容和测控装置的通信内容存在着差别,导致测控失常、计量不准确甚至保护运行错误等严重问题出现。

1.2 光纤链路在线监测的解决思路

随着智能电网发展速度越来越快,光纤的应用将会越来越多,最终除了动力电源回路外,光纤必将完全取代传统意义上的二次回路,所以必须要打破目前光纤链路在线监视的技术空白,通过有效方法和可靠的技术手段对光纤链路的健康状态和通信内容进行在线监测,让运行检修人员对光纤链路的工作状态一目了然。除此之外,还要做到对全站光纤链路、链路两端设备和间隔信息进行统一标识管理,当有检修作业或调试试验时,通过设备标识自动阻断光纤信号或让设备自动转入检修状态,避免误操作、误动作,确保安全。

目前光时域反射仪(Optical Time Domain Reflectometer, OTDR)被广泛地应用于光缆线路的维护、施工之中,可进行光纤长度、光纤的传输衰减、接头衰减和故障定位等的测量。本文在 OTDR 工作原理的基础上进行扩展设计和高级应用,提出

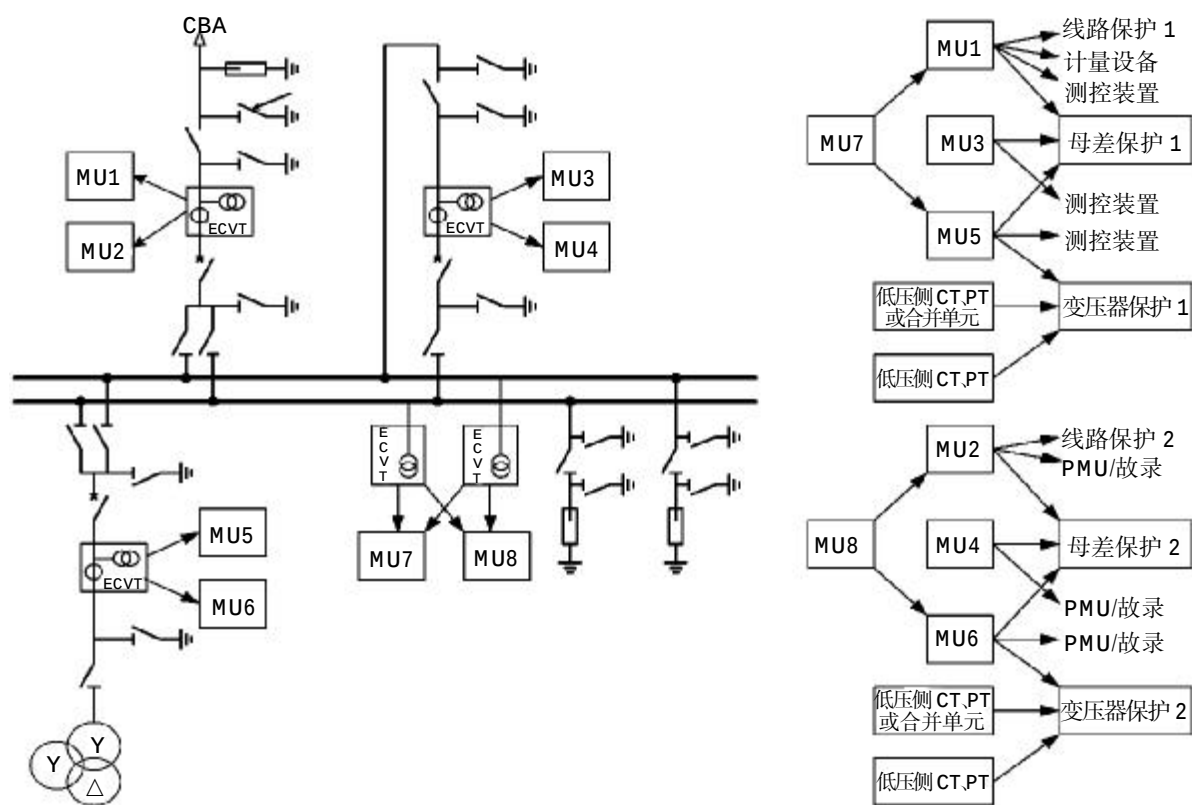


图 1 典型的 220 kV 双母线设计

了 1 种光纤链路在线监测的解决思路。

2 OTDR 的工作原理

2.1 基本原理

图 2 所示为光纤回路的基本工作原理。光纤线芯为玻璃纤维，入射的光线在纤芯与包层之间全反射，沿着玻璃纤维的物理路径进行传输^[1]。要想明白 OTDR 的工作原理就必须掌握 2 个光学原理——瑞利散射和菲涅尔反射。

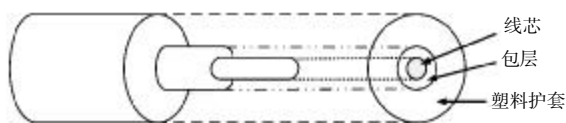


图 2 光纤结构及工作原理

2.1.1 瑞利散射

瑞利散射是指光波在光纤传输时，遇到一些比光波波长小的微粒而向四周散射导致光功率减小的现象，是光纤的一种固有损耗。如图 3 所示。

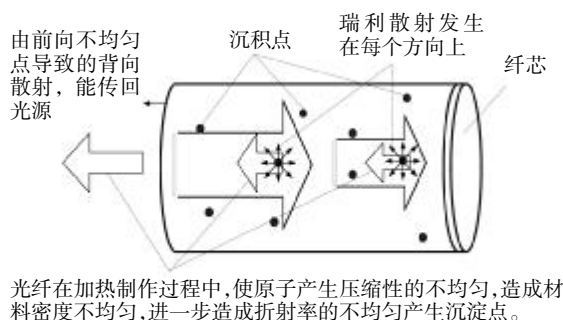


图 3 瑞利散射

2.1.2 菲涅尔反射

菲涅尔反射^[2]就是光在从 1 种介质(光纤)传到另外 1 种介质(空气)中时，被沿原介质(光纤)反射回来，如图 4 所示。一般在在光纤的机械固定接头、光纤连接器、光纤断裂、光纤的终点等处都会发生菲涅尔反射。



图 4 菲涅尔反射

2.2 工作原理

OTDR 是利用光线在光纤中传输时的瑞利散

射和菲涅尔反射所产生的背向散射而制成的精密的光电一体化仪表。

OTDR 的工作原理就是发射光脉冲到光纤内，当光脉冲在光纤内传输时，会由于光纤本身的性质，连接器，接合点，弯曲或其它类似的事件而产生散射，反射。其中一部分的散射和反射就会返回并被 OTDR 端口接收。OTDR 探测器对这些有用的返回信息进行分析计算，就可以得到光纤内不同位置上的时间或曲线片断，通过计算从发射信号到返回信号所用的时间还可以计算出距离，从而掌握光纤链路的实际运行工况和光线传播情况^[3]。

2.3 工作特征

OTDR 就是充分利用瑞利散射和菲涅尔反射的原理进行工作并表征光纤特性的。OTDR 发射模块将测量光波射入被测光纤，光信号沿着光纤发生瑞利散射，产生无规律的散射光波。其中一部分就会被背向散射回 OTDR 的测量接收端口。这些背向散射光波信号能够准确、实时地线性表征光波由光纤而导致的衰减(损耗/距离)程度，所形成的典型的轨迹是 1 条向下的曲线，说明背向散射的功率在不断减小，光波经过一段距离的传输后发射和背向散射的信号都有所损耗。菲涅尔反射由整条光纤中的个别点，例如玻璃与空气的间隙而引起，是离散性的反射。由于这些点的因素，造成反向系数各有差异。在某些点上，会有很强的背向散射光被反射回来。OTDR 就是利用菲涅尔反射的光波信息来定位连接点，光纤终端或断点。

3 基于 OTDR 的光纤链路在线监测设计

3.1 总体思路

在线监测的首要设计原则是绝对不能影响光纤回路的正常工作，通过基于 OTDR 的技术方案对由户外进入通信机房、控制室内的光纤全回路进行实时监测。另外一个重要的原则是整体方案成本可控。

OTDR 的工作原理是发射光脉冲到光纤内，利用散射和反射回来的光波信息进行分析计算，掌握光纤链路的实际运行工况和光线传播情况，

监测光波和工作光波会在同一根光纤中传播。因此在此监测光纤始端,要用到波分复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)技术对 2 种光波的紧密光谱间距进行合波复用。监测用特征波长的光波通过散射和反射返回,被 OTDR 接收用来计算分析光纤链路的工况。工作用特征波长的光波也在光纤回路中正常传播。当两者同时到达光纤尾端的接收装置时,采取技术措施对监测光波进行处理,以确保对装置的性能和作用不造成任何附加影响。

解决这个问题可以有多种措施。例如在 WDM 合波阶段就可以将 OTDR 发射的监测光波打上特殊的标识、接收装置对带有特殊标识的监测光波信号进行屏蔽处理。或者根据监测光波和工作光波两者波长不同的特点,对接收装置的信号算法进行优化,只取工作波长的光波信号进行运算分析,保证装置逻辑正确、动作可靠。此外还可以从硬件结构入手解决这个问题,如对接收装置进行重新设计,配备可根据不同波长进行过滤设置的滤波器,能将复用的监测光波信号彻底过滤。

通过这一系列的技术手段,可以保证 OTDR 发射的监测光波能实时、准确、可靠地反应被测光纤的实际运行工作状态,又不会影响工作光波的正常传播,同时对光纤装置的逻辑运算和正常运行不造成任何影响。

3.2 解决方案

根据以上原理和思路,可以对多路光纤在线

监测进行设计,如图 5 所示:

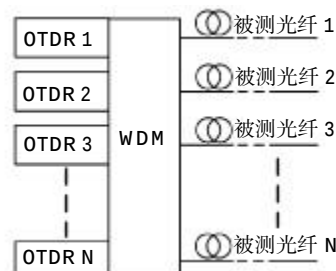


图 5 多路光纤在线监测原理

将这种思路进一步进行系统扩展,考虑到场站会有若干的通信机房或集控小室都有光纤接入,可以让每个小室的光纤统一经由光纤配线架入户,对光纤配线架进行智能化改造,在每一对光纤转接法兰处安装 OTDR 模块、通信管理模块和 WDM 装置。每个小室视为 1 个单元并配置 1 套监控管理系统子站,主控室设置监控管理系统主站服务器,各个子站的监控管理系统通过网络与主控室的主站服务器连接组成监控网络,如图 6 所示。

通信管理可以有线的也可以是无线的。在后台管理系统中可以嵌入多种高级应用模块,如光纤链路的可视化运行工况图、损耗情况、故障定位、数据查询以及自动告警等等。如果将系统功能再进一步扩展,以该智能变电站的全站系统配置文件(Substation Configuration Description,SCD)二次虚端子配置图为依据,将每个监测节点根据功能作用进行标识设置,并把相应的告警信号接入变电站监控系统的告警模块中,那么全站的整个

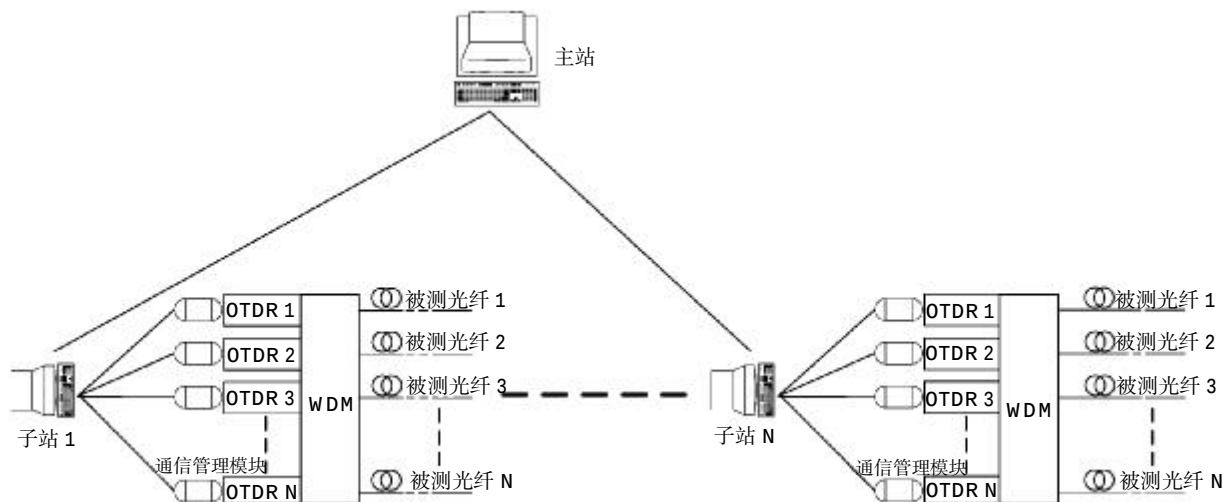


图 6 整站光纤在线监测设计方案

二次回路就可以通过实时监测方式非常直观、清晰、准确地展示出来了。

这种方案的优点在于每 1 根需要监控的光缆都是用独立的 OTDR 模块进行监控,完全不必中断正常设备的工作,可以达到最高的实时性。缺点是 OTDR 模块和通信管理模块的技术要求很高,既要满足光纤转接法兰的安装要求又必须安全可靠,而且成本比较高。考虑到技术难度和推广成本等问题,可以对方案进一步优化和调整,如不必做到全网监测,只对部分重要的光纤回路进行监测,这样可以大大降低实现的技术难度和成本。

4 效果评价

随着智能电网迅速地发展,其规模将会越来越大,安全稳定运行要求越来越高,技术要求也愈加严格。智能变电站光纤链路的在线监测和管理目前还处于技术空白,该解决方案能使智能变电站内通信内容的采集方式更加合理,通信过程的监测完全符合真实情况,直接提高了智能变电站内通信过程的在线监测的真实性,间接完善了智能变电站二次状态监测的水平。同时可以研究开发多项新技术和新工艺,例如光纤阻断与恢复、光纤在线功率及通信内容监测、集成式光纤断路器和特种光纤监测法兰盘设计等等,最终形成能够对基于 IEC 61850 智能变电站全覆盖式的实时全

景监控。在技术管理方面可以构建一整套与光纤链路相关的管理规定和规章制度,进一步提升智能变电站的综合管理水平。

5 结论

(1)通过基于 OTDR 的在线监测方案可以说填补了目前光纤链路监测和管理的技术空白区,符合国家电网公司关于新一代智能变电站关键技术的总体思路和要求。

(2)全站整体设计方案能使智能变电站内通信内容的采集方式更加合理,通信过程的监测完全符合真实情况,提高了智能变电站内通信过程的在线监测的真实性,完善了智能变电站二次状态监测的水平。

(3)在此方案基础上还可以构建起一整套与光纤链路相关的管理规定和规章制度,进一步提升全站的综合管理水平。

参考文献:

- [1] 廖延彪. 光纤光学——原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2010.
- [2] 王玉田等. 光纤传感技术及应用[M]. 北京:航空航天大学出版社,2009.
- [3] 杨文山. 光电缆工程 [M]. 北京:人民邮电出版社,2013.

“通信”和“通讯”的区别

传统意义上的通讯主要指电话、电报、电传。通讯的“讯”是指消息(message),媒体讯息通过通讯网络从一端传递到另一端。媒体讯息的内容主要是话音、文字、图片和视频图像。其网络主要由电子设备和无线电系统构成,传输和处理的信号是模拟的。所以,“通讯”一词应特指采用电报、电话等媒体传输系统实现上述媒体信息传输的过程。

“通信”仅指数据通信,即通过计算机网络系统和数据通信系统实现数据的端到端传输。通信

的“信”指的是信息(information),信息的载体是二进制的数字。数据则是可以用来表达传统媒体形式的信息,如声音、图像、动画等。由于旧的“通讯”系统早已实现了数字化、计算机网络化改造,因此可以认为目前的数据通信系统已涵盖了过去的“通讯”系统的功能。按照这个结论,目前应多使用“通信”一词表达互联网间与局域网内的数据传输,尽量少用或不用“通讯”一词,以免引起概念上的误解。