

多路 EPON 光纤在线并行监测系统^①

张振军, 李 敏

(国网安徽省电力公司蚌埠供电公司, 蚌埠 233000)

摘 要: 介绍了电力系统光通信网的现状, 对现阶段的 EPON(Ethernet Passive Optical Network, 以太无源光网络) 光缆监测方法进行了分析和比较, 提出了“OTDR(光时域反射仪)+光开关+合波器+光反射器(终端过滤器)”多路 EPON 光缆并行在线监测系统设计方案, 该系统能实时地监测多路光缆线路传输性能的劣化, 及时发现障碍隐患, 并迅速对多路被监测光纤的障碍点进行定位, 有效地压缩障碍历时, 降低电力系统光纤通信网的故障发生。

关键词: 电力通信; EPON; 光缆在线监测; OTDR; 多通路并行监测

System for Parallel Monitoring Multi-channel EPON Fiber Optic Cable

ZHANG Zhen-Jun, LI Min

(Bengbu Electric Power Supply Company of State Grid, Bengbu 233000, China)

Abstract: In this paper, the optical communication networks applied in Power States are introduced. The present methods for EPON fiber cables monitoring are analyzed and evaluated. A new method which is composed of OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), light switch, and optical multiplexer reflector (final filter) is proposed for fiber optic online monitoring. The on-line monitoring system can monitor the real-time transmission of fiber-optic cables, detect hidden obstacles and quickly position the fiber obstacle. Implementation of the parallel monitoring system will improve the time of barriers clearing, and lower the fault probability of Optic fiber communications in Power States.

Key words: power communication; EPON; cable online monitoring; OTDR; parallel multi-channel monitoring

随着人们对信息的需求与日俱增, 电力通信网的规模不断扩大, 电网对电力通信的依赖性也越来越强, 而光缆数字通信作为现代通信最重要的传输方式之一, 在我国发展十分迅速, 现在我国长途网的光纤化比例已高达 90%以上, 光纤传输网承担着 95%以上的通信业务^[1], 直接影响到广大人民群众的生活水平以及信息传播。据统计, 我国已敷设光缆的总长度超过了 $4.05 \times 10^6 \text{km}$, 约 7.582×10^7 芯公里, 而微波线路长度仅为 $2 \times 10^5 \text{km}$ ^[2], 且传输容量远低于光缆线路, 因此对光缆进行检测与维护对我国通信有着至关重要的作用。

以太无源光网络(EPON: Ethernet Passive Optical Network), 以其带宽高、抗干扰能力强、可靠性高、成本低等特点, 作为一种新兴的宽带接入技术, 已经在我国和全球各地广为应用, 现有的接入光缆基本上都

采用 EPON 接入方式。

随着用电信息采集 EPON 通道建设与配网光纤通信的 epon 实施, EPON 通道在电力通信作为接入层通道已越来越普及, 而 epon 通道监测与管理是系统的一个薄弱环节。在电力系统的很多业务中, 对通信通道的故障诊断和恢复要求严格。特别是 EPON 在配网自动化系统中的应用, 对通道切换时间要求达到毫秒级。Epon 通道在线检测为电力系统中用户用电量采集系统、配网自动化系统等系统业务的可靠性提供了保障。关键词库的结合大大提高了信息抽取算法的准确性和通用性, 基于 Web 信息抽取的混合交通出行方案生成与表示系统的成功实验也证明了本文提出的 Web 信息抽取算法的实用性。

^① 收稿时间:2015-05-20;收到修改稿时间:2015-07-02

1 电力系统光缆监测现状分析

随着通信技术的飞速发展, 光缆监测技术也在不断更新, 通过运用光缆监测系统, 可以实施对整个光缆线路传输质量的监测. 监测系统主要通过通过对数据传输光缆进行监测, 测试 OLT 到用户 ONU 之间的工作光纤质量, 监测每个 FTTX 用户的光纤连接状况. 通过测试数据汇总, 并与数据库中参考数据比较, 准确分析光缆的劣化趋势和故障情况, 从而对光缆运行情况进行判断与评估, 实施流程主要包括信息采集、汇总与分析信息数据、评价与诊断设备的运行情况^[3]. 现有的光缆监测系统有以下几种方案:

1.1 光功率监测系统手段

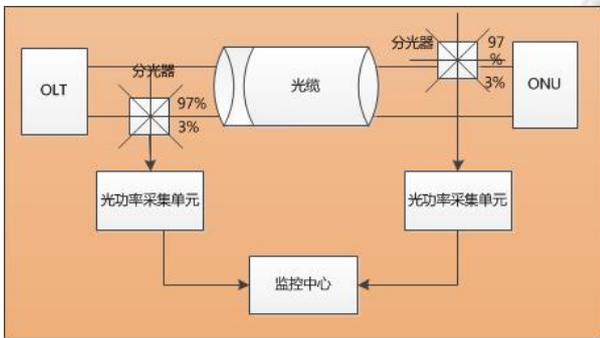


图 1 光功率监测示意图

光功率监测是现阶段大家常用的光缆监测方案. 光缆光功率监测系统是通过光功率采集单元对被测光纤的光功率进行采集, 当光功率监测模块监测到光纤线路中的光功率值变化低于告警门限值时, 光功率监测控制模块立即将告警信息上报给监控中心, 光功率监测系统通过对光缆中传输光功率的变化实时监控, 根据光功率的变化趋势做出预警, 从而及时发现故障隐患^[4].

光功率监测方案虽然可以监测光纤的总损耗, 但不能反应光纤的损耗性能, 也不能发现光缆出故障的位置. 而且, 监控中心是通过不断循环地对各个光路进行数据采集, 然后记录每路光信号功率值, 并与各自的初始光功率进行比较, 从而得到光功率变化.

然而, PON 光缆网络是一点对多点的通信连接, PON 网络中引入了大分光比的分光器, 分光器后面会有多条光缆, 而光功率监测方案测试无法实现光缆的多路并行监测, 这将会使测试变得相当复杂. 由于 PON 网络涉及分光器和后面大量的光缆, 故不适宜采用光功率备纤测试方案, 只能采用新技术, 加入波

分设备和合波设备, 利用与 PON 业务波长不同的测试波进行测试, 在接收端使用光反射器(滤波器)把测试波长滤除, 消除测试光对 ONU 的影响.

1.2 人工巡检的 ODTR 光缆故障维护手段

传统的光缆故障维护方式是当光缆线路发生故障时, 先由用户进行投诉, 值班人员再到用户处, 检查 ONU 的光纤连接, 并根据告警信息确定故障区段, 然后断开在分光器中的光纤连接, 用 ODTR 在该区段进行测量确定故障点, 最后通知线路抢修人员赶往具体地点进行抢修^[5,6].

这种被动的抢修维护方式复杂, 费时费力, 用传统 OTDR 测试, 不能测试分光器之后的光纤状况, 在测试过程中, 需要断开业务网络, 工作量繁重, 没有光纤测试参考数据, 难以发现光缆的劣化趋势和隐患. 该维护手段难以准确定位故障点^[7,8].

通信部门现阶段所具备的光缆监测设备难以应用于 EPON 网络监测, 而且, 营销部门对于 EPON 网络监测的要求与原有的城域网不同, 主要区别在于对 EPON 光缆监测的实时性、稳定性和安全性要求更高, 同时要求监测备用通道^[9], 因此, 传统的抢修方式很难达到这种要求.

原有光缆监测是根据目前使用最普遍的 OTDR 进行距离探测, 有一套独立成熟的测试系列产品, 但是出现了以下几个问题难点: (1)无法做到在监控光纤实时的损耗数据的同时不影响正在使用的光纤传输业务; (2)因电力 EPON 网络布局是沿着城区 10KV 的线路串行组网, 每一个 ONU 都有分路器相接, OTDR 对于这种有大量分路器的线路无法测光. 虽然采用在分路器上加装一套光开关的方式能部分解决测距问题, 但是这使得光网络变成有源, 存在隐患. 大量的光开关的加装也极大的造成了施工, 维护, 管理的难度, 另外同时需要加装配套的供电设施, 这给实现带来了难度.

2 “OTDR+光开关+合波器+光反射器”光缆在线监测系统设计

为了满足实时监控的要求, 本文提出“OTDR+光开关+合波器+光反射器”的分光监测技术思路, 自主研发一套 RTU 设备, 即将“OTDR+光开关+合波器+光反射器”方案集成到一套硬件设备 RTU 中, 通过分出 5% 的光源 OLT 回传信号到监测设备, 再通过软件在线业

务监测, 整个系统称为光缆在线监测系统。

2.1 系统组成

整体设备技术采用的思路是将现有 EPON 技术中的 OLT 集成 OTDR 的测距功能, 成为一个高度集成化的 OLT。根据 EPON 的技术原理, 将 OLT 针对每一个 PON 管辖的 OUN 的上传业务变为在线监测的功能, 同时由 OTDR 板卡实现实时测量。

系统组成如图 2 所示:

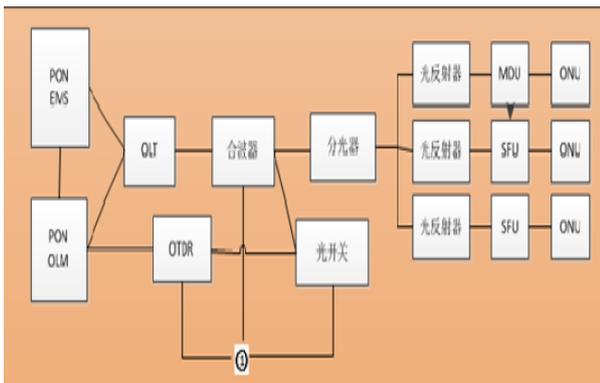


图 2 光缆在线监测系统组成

EPON 光缆在线监测通过光缆监测节点设备(图 2 中的 o1)对被监测光缆进行 OTDR 测试, 产生相应的告警信息, 上报给 PON EMS 网管中心, 光缆监测节点设备是光缆网络管理系统的硬件设备, 包括 OTDR、光开关、合波器和光反射器。

2.2 多通路监测设计

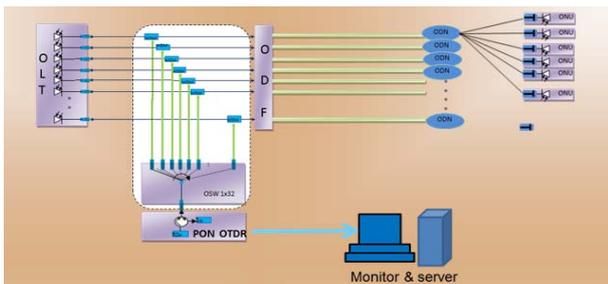


图 3 多通路 OTDR 光缆监测方案

多通路并行 OTDR 光缆监测方案结构示意图如图 3 所示: 每根被测光纤都汇合到独立的 OTDR 进行监测。PON 系统通信光波长为 1310nm 和 1550nm, OTDR 测试光波长一般采用 1650nm, 安装在各 ONU 前端的滤波器可以滤下测试光而只让通信光通过, 测试不会影响正常通信。

OTDR 测试结果上不同位置的反射峰代表相应的 ONU 分支光缆, 当 ONU 分支光缆中断, 相应的反射峰会消失, 系统能够判断故障发生在哪一路 ONU 分支光缆。本方案采用无源镀膜高反射器 HRD 连接用户终端 ONU 侧, 对 OTDR 的测试波长产生强反射峰, HRD 采用特别的镀膜技术生产, 每个 HRD 都具有相同的反射指标, 施工方便, 不需要记录不同用户使用的特别标识的 HRD。同时, 本方案一次可以同时测试分光器之后的多个用户, 时间短、效率高。该方式不需要对 ODN 网络的结构做改动, 只需要额外增加 WDM 和 HRD, 总体成本低。

多路并行 OTDR 光缆监测通过合波器采用的波分复用(WDM)将两种或多种不同波长的光载波信号(携带各种信息)汇合在一起, 并耦合到光线路的同一根光纤中进行传输的技术。系统通过将工作光纤和测试光纤在发送端经合波器汇合的方式, 可以不占用工作光纤的光芯, 保证在不用断开工作线路的条件下, 实时监测多路工作光纤的工作状态。多通路 OTDR 光缆监测方案中, 允许操作人员在一路光纤转换到另一路进行测试, 实现对多路光纤的同时测试。

2.3 系统的并行扩展



图 4 光缆监测的并行扩展

系统的并行扩展首先通过光纤链接模块 OLM(Optical Link Module)将各机框级联, 然后通过光开关传输给合波器。光开关具有一个或多个可选的传输端口, 如果需要监测的光缆数量大于 8, 则可以通过增加节点设备来满足要求。每套节点设备通过独立的 IP 地址与网管服务器中心进行网络通信, 完成相应的数据通信与逻辑控制功能。网管服务器中心通过网络对节点设备进行参数设备、启动停止测试、收集节点告警信息等操作, 实现对光缆的监测。

多路并行光缆监测系统扩展性好、自动化程度。当整个扩展系统中的任一节点监测工作进行故障告警

时,系统自动启动检测模块,对告警线路实时检测。

3 系统测试与结果分析

如下图所示,将 RTU 设备和网管接入到 EPON 的实际应用系统,在 OLT 和分光器之间插入 RTU 设备,为了参照,我们同时也采用传统的 OTDR 仪表进行对比测试,用于检验整个系统测试的精准性和稳定性,验证系统的功能能否满足光缆在线监测的要求。

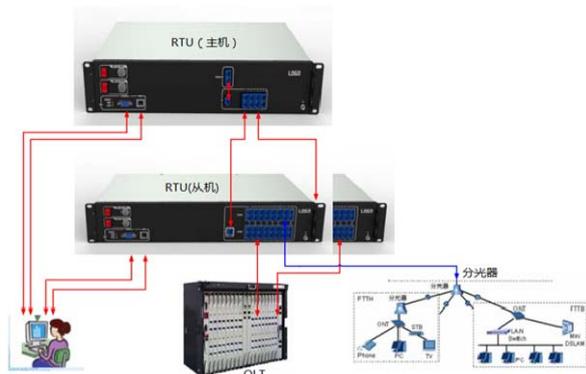


图5 测试系统测试组网图

测试界面图如图6所示,紫色表示正在测试,绿色表示测试正常,红色表示异常。

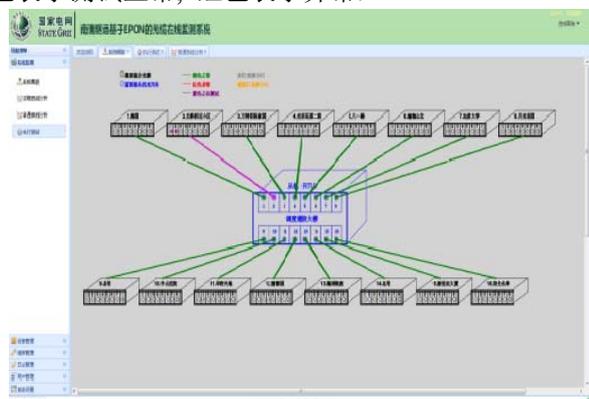


图6 实时测试网管界面图

3.1 RTU 接入 EPON 系统在线测试与分析

3.1.1 OLT 到分光器的距离测试

如图7所示,由 RTU 系统测得的分光器反射峰值,可得距离为 474.9 米,同时 OTDR 仪表测得距离为 468 米,尾纤为 5 米,相对 OTDR 来说,误差为 RTU 系统 (474.93)-OTDR 仪表(468)-尾纤(5)=1.93 米,小于测试误差允许范围(±20 米)。



图7 OLT 到分光器的距离测试曲线图

3.1.2 ONU 到分光器的距离测试

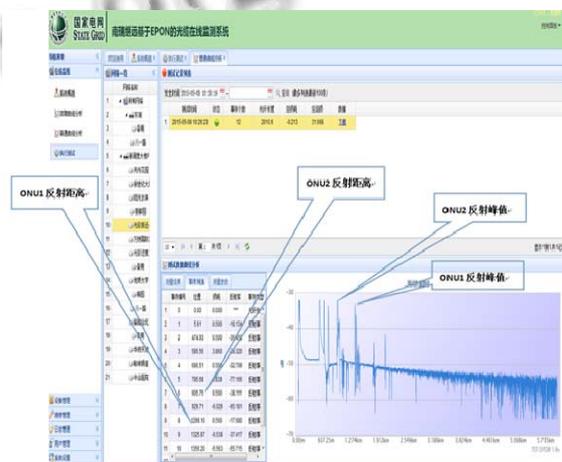


图8 ONU 到分光器的距离测试曲线图

用 OTDR 仪表和 RTU 测试的对比情况为:
测试数据误差分析:

类别	ONU1	ONU2
OTDR 仪表	823	433
RTU 系统	1299.10-474.93 824.17	909.74-474.93 434.81

ONU1 分析: RTU(824.17)-OTDR(823)=1.17 米

ONU2 分析: RTU(434.81)-OTDR(433)=1.81 米

误差都在允许误差(±20 米)范围内。

3.1.3 OLT 到 ONU 的测试距离分析

OTDR 仪表测试的情况为:

类别	尾纤距 离	ODF 到分 光器	分光器到 ONU	总距离 (米)
olt 到 onu1 距离	5	468	823	1296
olt 到 onu2 距离	5	468	433	906

RTU 系统测试的情况为:

OLT 到 onu1 距离 1299.10 米

OLT 到 onu2 距离 909.75 米

测试数据误差分析:

ONU1 分析: RTU(824.17)-OTDR(823)=1.17 米

ONU2 分析: RTU(434.81)-OTDR(433)=1.81 米

误差都在允许误差(±20 米)范围内.

3.2 RTU 单机测试与分析

该测试的目的是对研发的 RTU 设备的功能、性能指标进行全面的测试, 确定是否达到要求.

3.2.1 OTDR 参数测试

OTDR 参数测试			
测试序号	01	项目名称	OTDR 测试波长
标准要求	1620nm~1660nm		
测试配置			
测试步骤	1、按图连接; 2、预热光谱分析仪至稳定状态, 设置设备中心波长为 1650nm, RES 为 0.2nm, SPAN 为 50nm, VBW 为 1kHz; 3、通过网管命令被测试设备 OTDR 处于测试状态; 4、使用光谱分析仪测量 OTDR 输出信号中心波长.		
检验结果	中心波长: 1630.40nm		

4.2.2 光开关参数测试

光开关参数测试																							
测试序号	02	项目名称	光开关插损																				
标准要求	主机光开关插损 < 1.8dB																						
测试配置	用宽带光源仪表发光给 RTU 设备, OSAMS9740A 仪表测试结果																						
测试步骤	1、按图虚线连接, 顶热宽带光源及光谱分析仪至稳定状态; 2、设置光谱分析仪测量起始波长为 1260nm, 停止波长为 1670nm, 波长分辨率(RES)为 1nm; 3、用光谱分析仪测量光谱 A 并保存; 4、通过网管设置光开关处于通道工连接状态; 5、用光谱分析仪测量光谱 B 并保存, 计算 A-B 得到光开关当前通道的衰减谱 C, 找出最大衰减值 II _I ; 6、改变光开关通道号; 直到完成光开关所有通道插损的测试.																						
检验结果	主机光开关检验结果: <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>通道</th> <th>插入损耗</th> <th>通道</th> <th>插入损耗</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ch1</td> <td>0.450 dB</td> <td>Ch5</td> <td>0.583 dB</td> </tr> <tr> <td>Ch2</td> <td>0.592 dB</td> <td>Ch6</td> <td>0.505 dB</td> </tr> <tr> <td>Ch3</td> <td>0.691 dB</td> <td>Ch7</td> <td>0.607 dB</td> </tr> <tr> <td>Ch4</td> <td>0.631 dB</td> <td>Ch8</td> <td>0.768 dB</td> </tr> </tbody> </table>			通道	插入损耗	通道	插入损耗	Ch1	0.450 dB	Ch5	0.583 dB	Ch2	0.592 dB	Ch6	0.505 dB	Ch3	0.691 dB	Ch7	0.607 dB	Ch4	0.631 dB	Ch8	0.768 dB
通道	插入损耗	通道	插入损耗																				
Ch1	0.450 dB	Ch5	0.583 dB																				
Ch2	0.592 dB	Ch6	0.505 dB																				
Ch3	0.691 dB	Ch7	0.607 dB																				
Ch4	0.631 dB	Ch8	0.768 dB																				
检验结论	合格																						

4.2.3 合波器参数测试

合波器参数																																																																											
序号	03	项目名称	插损																																																																								
标准要求	通信业务光信号插损 < 1.2dB OTDR 测试光信号插损 < 3dB																																																																										
测试配置	用宽带光源仪表发光给 RTU 设备, OSAMS9740A 仪表测试																																																																										
测试步骤	1、预热宽带光源及光谱分析仪至稳定状态; 2、设置光谱分析仪测量起始波长为 1270nm, 停止波长为 1670nm, 波长分辨率(RES)为 1nm; 3、用光谱分析仪测量光谱 A 并保存; 4、按实线连接. 光源从被测试设备的 IN 端口输入, 在 OSW 端口输出; 5、通过网管设置光开关处于通道 I 连接状态, 用光谱分析仪测量光谱 B 并保存, 计算 A-B 得到光开关当前通道的衰减谱 C, 找出 1580nm~1670nm 范围的最大衰减值 II-I; 6、改变光开关通道号, 重复步骤 5, 直到完成所有通道插损的测试; 7、光源从测试设备的 OPM 端口办理入, 在 OSW 端口输出, 重复步骤 5, 找出 1270nm~1577nm 范围内插入损耗, 即到信号通信业务光通道插损.																																																																										
检验结果	通信业务光信号插 1270nm~1577nm <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>通道</th> <th>插入损耗</th> <th>通道</th> <th>插入损耗</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Ch1</td><td>0.672dB</td><td>Ch9</td><td>0.839dB</td></tr> <tr><td>Ch2</td><td>0.739dB</td><td>Ch10</td><td>0.630dB</td></tr> <tr><td>Ch3</td><td>0.627dB</td><td>Ch11</td><td>0.584dB</td></tr> <tr><td>Ch4</td><td>1.139dB</td><td>Ch12</td><td>1.017dB</td></tr> <tr><td>Ch5</td><td>0.745dB</td><td>Ch13</td><td>0.947dB</td></tr> <tr><td>Ch6</td><td>0.889dB</td><td>Ch14</td><td>0.479dB</td></tr> <tr><td>Ch7</td><td>0.688dB</td><td>Ch15</td><td>0.829dB</td></tr> <tr><td>Ch8</td><td>0.521dB</td><td>Ch16</td><td>0.972dB</td></tr> </tbody> </table> OTDR 测试光信号插 1580nm~1670nm <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>通道</th> <th>插入损耗</th> <th>通道</th> <th>插入损耗</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Ch1</td><td>1.307dB</td><td>Ch9</td><td>1.263dB</td></tr> <tr><td>Ch2</td><td>0.994dB</td><td>Ch10</td><td>0.990dB</td></tr> <tr><td>Ch3</td><td>1.127dB</td><td>Ch11</td><td>0.963dB</td></tr> <tr><td>Ch4</td><td>1.345dB</td><td>Ch12</td><td>1.472dB</td></tr> <tr><td>Ch5</td><td>0.936dB</td><td>Ch13</td><td>0.990dB</td></tr> <tr><td>Ch6</td><td>0.883dB</td><td>Ch14</td><td>0.987dB</td></tr> <tr><td>Ch7</td><td>1.157dB</td><td>Ch15</td><td>1.372dB</td></tr> <tr><td>Ch8</td><td>0.797dB</td><td>Ch16</td><td>1.227dB</td></tr> </tbody> </table>			通道	插入损耗	通道	插入损耗	Ch1	0.672dB	Ch9	0.839dB	Ch2	0.739dB	Ch10	0.630dB	Ch3	0.627dB	Ch11	0.584dB	Ch4	1.139dB	Ch12	1.017dB	Ch5	0.745dB	Ch13	0.947dB	Ch6	0.889dB	Ch14	0.479dB	Ch7	0.688dB	Ch15	0.829dB	Ch8	0.521dB	Ch16	0.972dB	通道	插入损耗	通道	插入损耗	Ch1	1.307dB	Ch9	1.263dB	Ch2	0.994dB	Ch10	0.990dB	Ch3	1.127dB	Ch11	0.963dB	Ch4	1.345dB	Ch12	1.472dB	Ch5	0.936dB	Ch13	0.990dB	Ch6	0.883dB	Ch14	0.987dB	Ch7	1.157dB	Ch15	1.372dB	Ch8	0.797dB	Ch16	1.227dB
通道	插入损耗	通道	插入损耗																																																																								
Ch1	0.672dB	Ch9	0.839dB																																																																								
Ch2	0.739dB	Ch10	0.630dB																																																																								
Ch3	0.627dB	Ch11	0.584dB																																																																								
Ch4	1.139dB	Ch12	1.017dB																																																																								
Ch5	0.745dB	Ch13	0.947dB																																																																								
Ch6	0.889dB	Ch14	0.479dB																																																																								
Ch7	0.688dB	Ch15	0.829dB																																																																								
Ch8	0.521dB	Ch16	0.972dB																																																																								
通道	插入损耗	通道	插入损耗																																																																								
Ch1	1.307dB	Ch9	1.263dB																																																																								
Ch2	0.994dB	Ch10	0.990dB																																																																								
Ch3	1.127dB	Ch11	0.963dB																																																																								
Ch4	1.345dB	Ch12	1.472dB																																																																								
Ch5	0.936dB	Ch13	0.990dB																																																																								
Ch6	0.883dB	Ch14	0.987dB																																																																								
Ch7	1.157dB	Ch15	1.372dB																																																																								
Ch8	0.797dB	Ch16	1.227dB																																																																								
结论	合格																																																																										

3.3 系统测试评价

本次测试项目包括 RTU 接入 EPON 系统在线测试

和 RTU 单机测试两部分

本次重点在对 RTU 设备接入 EPON 系统测试包括: OLT 到分光器的测试、分光器到 ONU 的测试、OLT 到分光器全程测试三大部分, 通过部分测试的网管数据和 OTDR 测试的数据对比, 测试的误差均小于 5 米; 该系统的容许误差为 ± 20 米。

该系统在线运行有半年时间, 从运行时间和测试结果分析, 基于 EPON 的光纤在线监测系统满足设计要求: 能实时监测光缆的运行状况, 及时发现光缆劣化趋势, 对渐变故障进行预防, 当发现故障后, 能够快速响应, 精确定位, 从而缩短障碍历时, 在不额外增加维护力量的情况下提高光缆可用率, 保障用户的光纤通信。

4 结语

本文提出的多路 EPON 光纤在线并行监测系统, 即采用高精度 OTDR+光开关+合波器+光终端反射器的方法完全可行。根据现有 PON 网络的现状, 该系统将大大提高光缆维护的便利, 精确的对故障进行定位和判断, 具有巨大的市场潜在价值。另外, 此套系统的可延展性前景广阔: 可扩展线路及设备保护模块, 无论线路故障或设备故障均可进行自动切换, 节省设备投资; 维护终端也能进行功能扩展, 系统附加的网管平台可实时同步数据, 指导维护人员迅速准确到达故障点, 实现对光缆的温度、应力、震动等实时监测。

该系统目前研发对象是电力专门应用在用电信息采集光纤通道采用的电力 EPON 技术, 在整个监测系统实施领域, 运用到很多创新的专利技术以及全新的方案构造, 可在该领域长期保持业界领先。

参考文献

- 1 李璟. 光缆监测系统在通信传输中的设计与实现. 数字技术与应用, 2011, (2): 17-19.
- 2 毛谦. 我国光纤通信技术发展的现状和前景. 电信科学, 2006, (8): 1-3.
- 3 杨晓娜, 王树辉. 光缆监测系统在通信传输中的实现. 中国管理信息化, 2011, (12): 49-49.
- 4 曹俊忠, 鲍振武. 光缆光功率实时监测. 光通信研究, 2003, (2): 34-37.
- 5 高尚. 论光缆监测系统在通信传输中的实现. 科技风, 2010, (12): 1-1.
- 6 李践实. 光缆监测系统技术及应用研讨. 铁路通信信号工程技术, 2007, (4): 26-27.
- 7 Champavere A. New OTDR measurement and monitoring techniques. Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), 2014. IEEE. 2014. 1-3.
- 8 梁爽, 王怀江. OTDR 事件分析和故障判断的研究与实现. 光通信技术, 2007, 31(1): 49-51.
- 9 Palchun YA, Sitnov NY, Gorlov NI. Monitoring and methods of early diagnostics of damage to optical fibers. Measurement Techniques, 2010, 53(5): 495-501.