



反射器在 PON 的 OTDR 测试与诊断中的应用研究^{*}

沈成彬¹, 杜喆¹, 蒋铭¹, 王波²

(1. 中国电信股份有限公司上海研究院 上海 200122;

2. 中国电信集团公司技术部 北京 100031)

摘要: 基于所构建的 PON OTDR 系统的 ODN 衰减事件检测的分析模型和相关试验结果, 研究了反射器在 PON 的 OTDR 测试诊断系统中的作用及其必要性。结合运营商的实际需求, 提出并比较了反射器的几种实现方案, 探讨了反射器的技术指标要求, 并介绍了反射器相关的国际标准化进展。

关键词: 无源光网络; 光时域反射分析仪; 光链路测量与诊断; 光分配网; 反射器

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.04.018

Application of Reflector in OTDR Test and Diagnosis System of PON Network

Shen Chengbin¹, Du Zhe¹, Jiang Ming¹, Wang Bo²

(1. Shanghai Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200122, China;

2. Department of Technology, China Telecom Corporation, Beijing 100031, China)

Abstract: A mathematic model was built-up to analyze ODN attenuation event detection in OTDR system of PON, and then combining the mathematic analysis and experimental result, the application value and necessity of wavelength-selective reflector in PON optical link test and diagnosis system were investigated. Based on operators' requirements, several implementations of reflector were proposed and analyzed, and technical requirements for reflector were given. Finally, the international and domestic standardization progress of reflector was introduced.

Key words: passive optical network, optical time-domain reflector, optical link test and diagnosis, optical distribution network, reflector

1 引言

随着 EPON、GPON 技术和产业链的成熟, FTTx 已经成为国内外运营商宽带网络建设和升级的主要方式。相对于 ADSL、以太网等传统接入网, FTTH 网络具有带宽高、接入用户数多、承载业务多等特点, 一旦发生网络故障, 对用户和业务的影响也更加明显。因此, 迅速发现、定位及处理故障, 特别是光层的各种故障, 对于提高 FTTH 网络的维

护效率、降低运维成本(OPEX)显得尤为重要。光链路测量与诊断技术主要用于对 PON 系统的光层故障诊断(包括无源的光分配网络(optical distribution network, ODN)和 OLT/ONU 的光模块)和性能监测的快速发现和定位光层故障。近两年来, 光链路测量与诊断技术受到了业界的普遍关注, 各种研究机构、器件和设备厂商、运营商都投入了大量资源进行相关的研究和试验, 取得了一系列重要的技术进展。

作为一种 PON ODN 测试诊断技术, 基于光参数测量

^{*} 国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(No.2011AA01A104)



(OPM)的方式可以比较有效地定位光链路故障的段落,基本能够满足 ODN 运维的需求且技术成熟、成本低,已经在很多运营商网络中得到较多应用且效果良好。另一方面,光时域反射仪 (optical time domain reflectometry, OTDR) 也被普遍认为是精确定位 ODN 故障、监测 ODN 性能的有效手段。对应用于 FTTx 网络的 OTDR 设备来讲,需要较高的动态范围、较高的事件分辨率和较快的测试速度。为了提高 OTDR 对光链路端到端性能的探测灵敏度,可以在 ONU 侧安装一个低成本的波长选择性反射器,实现对光链路的端到端衰减的精确检测。目前,业界普遍认可了反射器在 OTDR 测试系统中应用的价值和必要性,但对于具体的实现方式、应用模式还没有形成统一的结论。

本文在介绍 OTDR 的工作原理的基础上,建立基于“OTDR+反射器”的 ODN 衰减事件测试的模型,并通过理论分析和试验探讨其应用价值。最后,提出并比较了反射器的几种实现方案,并介绍反射器相关的国际标准化进展,指出了未来反射器技术发展和应用的趋势。

2 OTDR 的工作原理及分析模型

OTDR 主要是通过探测光脉冲在光纤中传输时的瑞利散射和非涅尔反射所产生的背向散射,测量光纤上的反射和衰减,并通过回波延迟进行故障定位,从而实现对光线路质量的测试和故障诊断。具体来说,光链路上的光纤末端开路、光纤断裂以及连接器耦合不佳等都会在 OTDR 的接收端产生一定程度的反射尖峰。光链路上的异常损耗也会在 OTDR 的回波曲线上表现出陡降的现象。这些反射尖峰和陡降现象被称为“事件”。OTDR 根据光反射回来所花费的时间来确定每个事件的详细位置。利用 OTDR 技术,在光线路的一端即可对整个光线路的性能和损伤事件进行测量,且故障定位的准确度很高。但是在 PON 系统中,由于引入了分光器,导致分光器后面的测试光脉冲的大幅度衰减,分光器后每一路引入光纤中的光信号强度降低为 $1/N$ (N 为分光比),在分支光纤上发生的衰减事件导致的背向散射信号会与其他 $N-1$ 路分支光纤的背向散射信号叠加,导致分支光纤上的衰减事件在 OTDR 的检测曲线很容易被淹没,这对 OTDR 的灵敏度、动态范围和分辨率等性能提出了远远高于传统 OTDR 的要求。需要特别指出的是,分光器以前的主干光纤上的衰减事件的检测与传统 OTDR 相同,无需做特别的考虑。为了进一步分析分光器后衰减事件的检测问题,笔者建立了针对 $1:N$ 均匀分

光的一级分光的 PON 系统中 OTDR 检测的分析模型,具体如图1所示。二级分光以及更多级分光的系统的相关分析与此相同,非均匀分光的系统分析可以参考本文的分析方法。

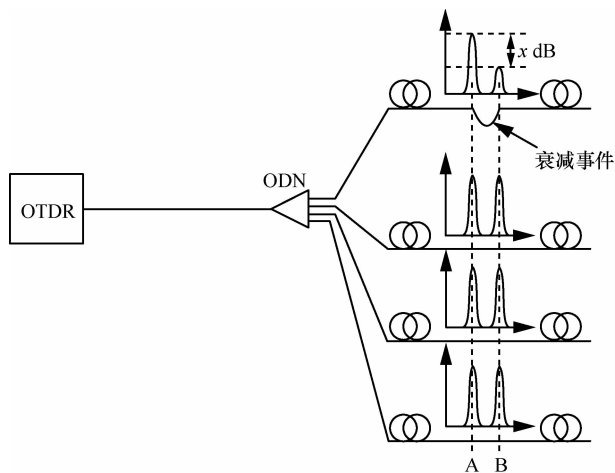


图1 PON 系统中分支光纤上衰减事件对 OTDR 测试结果的影响

假设在特定的一路分支光纤上发生衰减事件,其衰减值为 x dB,那么 OTDR 测试的光脉冲在 A 参考点的强度为 x_0 dB,那么在 B 参考点的强度则变为 (x_0-x) dBm,而其他分支光纤的 OTDR 测试光脉冲的强度在 A 点为 x_0 dB,在 B 点也为 x_0 dB,其信号衰减接近 0。考虑到 OTDR 依靠光脉冲的后向散射进行检测,在 B 点产生的后向散射脉冲信号还会经历一次衰减,发生 x dB 的衰减,那么相对于其他正常分支的 B 点的后向散射光脉冲,存在衰减事件的分支光纤在 B 点的后向散射光脉冲强度降低了 $2x$ dB。所有的分支光纤的 A 点后向散射信号叠加后强度为:

$$Y_A = \frac{10}{2} \lg \left(N \times 10^{-\frac{x_0}{10}} \right) \quad (1)$$

单位为 dBm,其中分母 2 为 OTDR 检测特有的衰减系数。所有分支光纤的 B 点后向散射信号叠加后强度为:

$$Y_B = \frac{10}{2} \lg \left((N-1) \times 10^{-\frac{x_0}{10}} + 10^{-\frac{(x_0-2x)}{10}} \right) \quad (2)$$

则在 OTDR 的反射曲线上反映的 A、B 点间的相对的信号衰减幅度为:

$$\Delta Y = Y_A - Y_B = 5 \lg \left(\frac{N}{(N-1) + 10^{-\frac{x}{5}}} \right) \quad (3)$$

单位为 dB。根据式(3),计算了几种典型 PON 配置中

分支光纤衰减强度与 OTDR 反射曲线上的可观测到的衰减强度之间的关系,并与实际测试的结果进行了比对。具体见表 1。

表 1 典型 PON 配置中分支光纤衰减强度与 OTDR 曲线上的可观测到的衰减强度之间的关系

分光比	某一支光纤上发生的衰减事件的强度/dB	计算得到的 OTDR 测试曲线上的可观测到的衰减强度/dB	试验观察到的 OTDR 测试曲线上的可观测到的衰减强度/dB
4	5	0.553 5	0.567/0.52 ^{注1}
	3	0.450 1	0.449/0.27 ^{注2}
	1	0.210 2	无法测得 ^{注3}
16	5	0.125 7	无法测得 ^{注3}
	3	0.104 1	无法测得 ^{注3}
	1	0.050 7	无法测得 ^{注3}
32	5	0.061 9	无法测得 ^{注3}
	3	0.051 4	无法测得 ^{注3}
	1	0.005 0	无法测得 ^{注3}

注 1:采用 EXFO 公司商用 OTDR 在 1 625 nm(10 ns 脉宽)波长测试得到数据为 0.567 dB,采用 EXFO 公司商用 OTDR 在 1 550 nm 波长(30 ns 脉宽)测到数据为 0.52 dB。
注 2:采用 EXFO 公司商用 OTDR 在 1 625 nm 波长(10 ns 脉宽)测试得到数据为 0.449 dB,采用 EXFO 公司商用 OTDR 在 1 550 nm 波长(30 ns 脉宽)测试得到的数据为 0.27 dB(由于 1 550 nm 波长对弯曲事件没有 1 625 nm 波长敏感,测试值比理论值偏小)。
注 3:超过了 EXFO 公司商用 OTDR 的检测灵敏度,无法分辨出衰减事件。

从上述理论研究和试验分析来看,由于受到同一个 PON 口下其他分支光纤背向散射信号的叠加效应影响,对 OTDR 的灵敏度和动态范围、分辨率等性能提出了高于传统 OTDR 的要求。分光比越大,分支光纤上的衰减反映到 OTDR 测试曲线上的衰减现象越微弱,越难以检测。考虑到噪声等其他因素的影响,对于 1:32 以及更大分光比的 PON 系统,衰减的幅度会降低 2 个数量级,利用传统 OTDR 技术检测分支光纤上的衰减时间是不可能的。

为了解决 OTDR 无法检测分支光纤上的衰减事件的问题,业界提出了在 ONU 侧安装一个无源的波长选择性的反射器,通过对 OTDR 检测信号的强反射,并结合历史数据的比对,实现对分支光纤衰减事件的有效检测^[1,2]。具体而言就是波长选择性反射器将 OLT 侧的 OTDR 发来的测试光脉冲以较高(接近 100%)且恒定的反射率反射回 OTDR,而正常的 PON 系统工作波长仍能以很小的衰减通过这个反射器。OTDR 通过检测这个反射器反射回来的光脉冲的强度就可以精确地计算出从 OLT 到 ONU 的光链路的衰减,并通过与历史数据进行比对,从而判断某个分支

是否存在衰减事件。这样就在很大程度上解决了引入光纤的衰减事件无法检测的计算难题。当然,这种方式不能精确地定位衰减事件发生的具体位置,但结合专家诊断系统,可以帮助确定是哪个分支光纤发生了衰减事件。比如,如果一个 PON 口下所有的反射脉冲都衰减一定幅度,则可以判断是主干光纤或者分光器发生了衰减事件;如果一个 PON 口下只有一个 ONU 的反射脉冲衰减一定幅度,则可以判断是某个 ONU 的分支光纤发生的衰减事件;对于二级分光场景,还可以结合这种思路判断出是主干、配纤或分支光纤出现了衰减事件。实际 PON 运行维护时,并不需要定位引入光纤上故障发生的精确位置,只需要定位到哪根光纤即可(一般采取更换光纤的方法来解决引入线故障)。另外,为了实现更加精确的故障定位,如果运营商在安装 ONU 时使每个 ONU 的引入光纤长度各不相同,那么 OTDR 就可以精确地定位具体发生衰减事件的分支光纤。典型的 PON 系统中反射器的应用原理如图 2 所示。

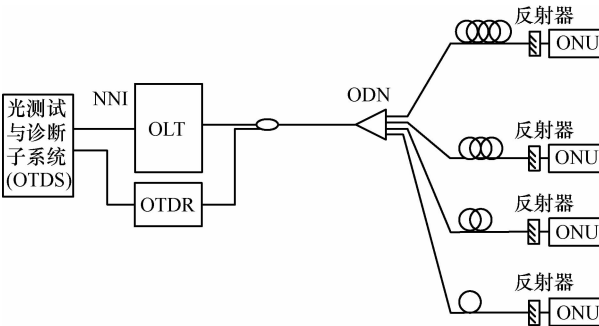


图 2 典型的 PON 中“OTDR+反射器”系统架构

在“OTDR+反射器”系统中,由于 OTDR 通过直接检测反射器反射的脉冲强度来判断光链路上的衰减故障,因此对 OTDR 的灵敏度、动态范围、分辨率没有特殊要求,降低了 OTDR 实现的难度和成本。特别是由于衰减事件对 OTDR 测试脉冲产生的往返两次衰减,所以等效提高了 OTDR 对衰减事件的检测灵敏度(为原来的 2 倍)。

3 反射器的实现方案

总体上,根据反射器的位置,反射器的实现方案可以分为在 ONU 外的光纤线路上安装反射器和在 ONU 内集成反射器两类。基于反射器的原理,反射器的实现方案又可以分为基于布拉格光纤光栅(FBG)的反射器和基于介质膜的反射器两类。



3.1 基于布拉格光纤光栅的反射器

光纤光栅是利用光纤材料的光敏性,通过紫外线曝光的方法将入射光相干场图样写入纤芯,在纤芯内产生沿纤芯轴向的折射率周期性变化,从而形成空间的相位光栅,其作用实质上是在纤芯内形成一个窄带的(透射或反射)滤波器或反射镜。当一束宽光谱光经过光纤光栅时,满足光纤光栅布拉格条件的波长将产生反射,其余的波长透过光纤光栅继续传输。

日本的 NTT 公司研究人员率先研究了采用布拉格光纤光栅作为波长选择性反射器^[1]。一般采用写入布拉格光纤光栅的特制尾纤,设置在 ONU 与家庭信息箱之间,属于 ONU 外的反射器。这种基于 FBG 的反射器的工艺比较成熟,可以规模生产,但存在成本相对较高、反射带宽度受限、尺寸相对较大(FBG 写入区的长度与反射率、反射带宽度等参数有关,一般为数厘米)等问题。另外,这种 ONU 外的反射器存在安装管控要求高的问题,难以保证施工现场 100% 安装。

3.2 接头预埋的介质膜反射器

这种反射器采用介质膜的制作工艺,由于该工艺制作的反射器体积小,可以预埋在引入光纤线路中的冷接子、现场成端子或者法兰盘的内部,也属于 ONU 外的反射器。

这种在光连接器件中贴介质膜的方法需要改变光连接器件的物理结构,需要调整冷接子、现场成端子或者法兰盘的设计和制作工艺,目前还不成熟。理论上讲,相对于 FBG,这种介质膜的反射器在规模生产后成本会比较低。另外,这种 ONU 外的反射器同样存在难以保证现场 100% 安装的问题。另外,部分熔接场景无法采用这种基于介质膜的反射器。

上述两种 ONU 外的反射器实现方案如图 3 所示。

3.3 ONU 内置反射器方案

这种方案主要是指在光模块或其尾纤上内置介质膜反射器的方案。这种方案采用介质膜反射器,在规模生产后成本比较低,且质量有保障,而且最重要的是由 ONU 生产商负责集成,无需现网维护人员做特殊操作,可以 100% 安装。

为了在 ONU 内部集成介质膜反射器,一种方法是在光模块 BOSA 光路内置反射器,具体的实现方案如图 4 所示。在 BOSA 的主光路上设置一个专门的介质膜反射器,从而实现对 OTDR 测试信号的反射。这种方案需要修改 BOSA 的光路设计,但规模生产后成本比较低。

另外一种在 ONU 内部集成反射器的方法是在光模块的 BOSA 的尾纤上嵌入介质膜反射器。具体实现方案如图 5 所示,利用微加工工艺在 BOSA 尾纤上刻蚀出微型槽,

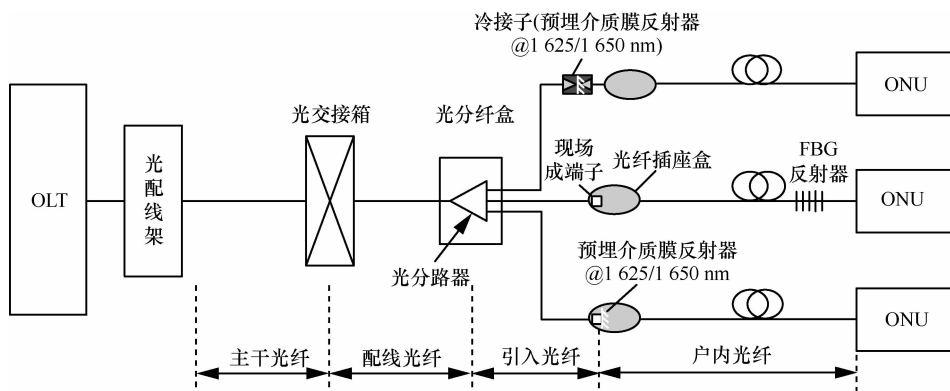


图 3 几种 ONU 外设置反射器的实现方案

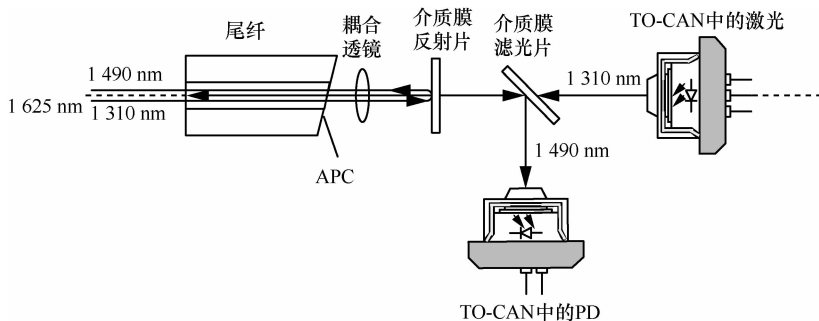


图 4 光模块 BOSA 光路内置反射器的实现原理

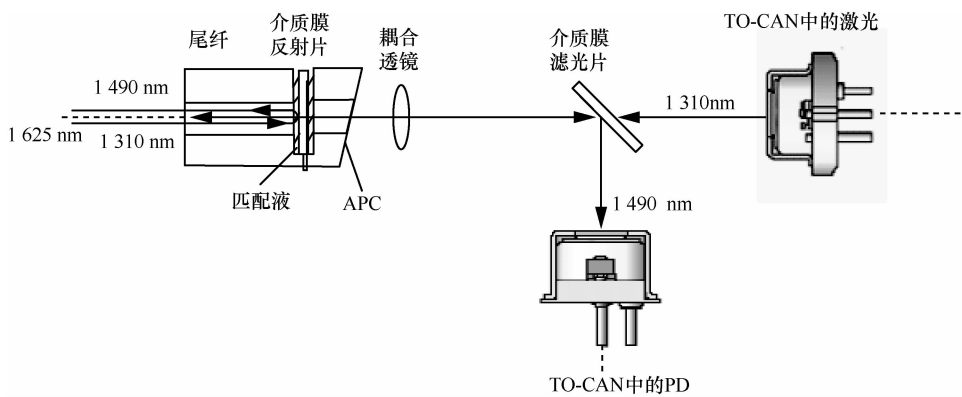


图 5 BOSA 尾纤内嵌反射器的实现原理

并将超薄的介质膜反射器放入这个槽并添加匹配液。相对于上一种方案,这种方案不需要修改 BOSA 光路,只需要对尾纤进行处理即可,其难点在于微加工工艺和超薄介质膜反射器的制备工艺目前还不成熟,即使工艺取得突破,整体上成本也会比较高。

由于成本和安装管控等方面的考虑,业界普遍认为 ONU 内置介质膜反射器是发展的方向,但 ONU 内置介质膜反射器的实现方案还处于探索阶段,还没有形成统一的实现方案和技术要求。

4 反射器的技术要求

对于反射器来讲,最主要的功能是对特定的 OTDR 测试波长进行反射,并允许承载业务的 PON 工作波长进行透射。考虑到反射器要兼容 EPON/GPON、10G-EPON/XG-PON、NG-PON2 系统,因此反射器所透射的波长范围为 1 260 nm 到 1 610 nm。另外,FSAN/ITU-T 在考虑对 NG-PON2 兼容 WDM 覆盖业务的标准化的,PON 系统工作波

长可能进一步拓展到 1 620 nm 左右。根据最新的 FSAN 和 BBF 标准,OTDR 测试波长范围为 1 640 nm 到 1 660 nm,因此反射器需要为该波段的 OTDR 测试信号提供高反射率、平坦和稳定的反射。目前业界还没有针对反射器的统一技术标准。为了进一步规范反射器的实现,笔者结合 ONU 光模块的技术要求,研究了集成反射器的 ONU 的反射和透射特性和反射器本身的技术要求。

对于 ONU 来讲,其对 OTDR 测试信号和 PON 工作信号的技术指标包括插损、回损、隔离度等。相关指标的定义、参考标准见表 2。考虑到插损指标可以由 ONU 光模块内部进行补偿,一般不做具体规定。

结合上述要求,可以确定 ONU 光模块内置介质膜型反射器的性能要求,具体见表 3。

另外,介质膜反射器本身的过渡带的大小决定了制备的复杂度和器件成本,过渡带越窄,实现难度越大,制备成本越高;相反,过渡带越宽,实现难度越小,制备成本越低。目前可以容忍最大过渡带宽度为 30 nm(即 1 640 nm

表 2 集成反射器的 ONU 光模块的光学性能要求

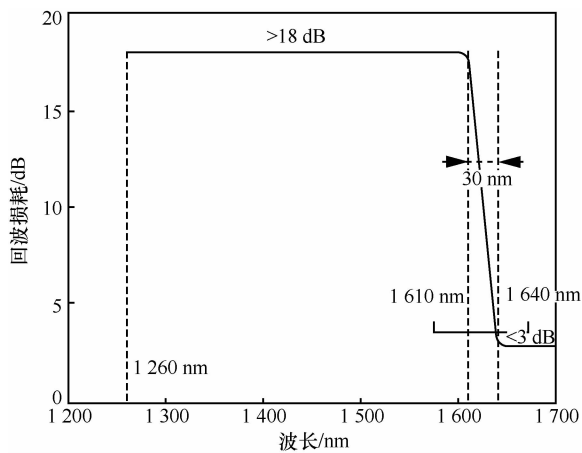
项目	参数值	说明
插损	不做规定	PON 系统工作波长为 1 260~1 610 nm; 反射器引入的插入损耗由光模块内部补偿,ONU 光模块的外部指标(发光功率和接收灵敏度等)应符合现有的规范
	不做规定	OTDR 测试波长为 1 640~1 660 nm;反射器引入的插入损耗由光模块内部补偿,ONU 光模块的外部指标(发光功率和接收灵敏度等)应符合现有的规范
回损	> 15 dB	PON 系统工作波长为 1 260~1 610 nm;国际标准和行标均规定回损不小于 20 dB,考虑到 OLT 侧均设置截止滤波器,可放宽到不小于 15 dB
	< 10 dB	OTDR 测试波长为 1 640~1 660 nm
隔离度	> 22 dB	指下行工作波长(如 1 490 nm)接收机处对 OTDR 测试信号的隔离度,该指标包含了波长选择性反射器和工作波长接收机处的截止滤波器的隔离作用
工作温度	-20~+70 °C	



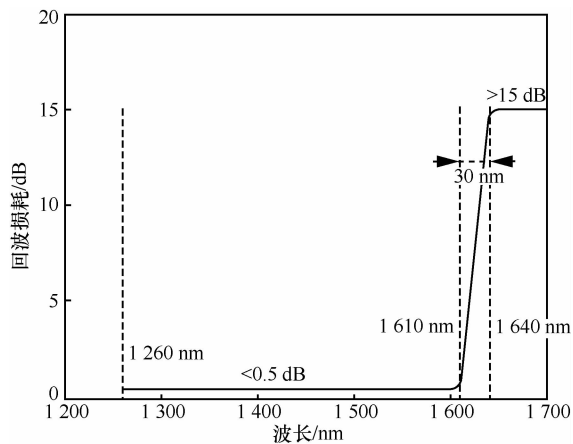
表3 ONU光模块内置介质膜型反射器的性能要求

项目	参数	说明
插损	< 0.5 dB	PON系统工作波长: 1 260~1 610 nm
	> 15 dB	OTDR测试波长: 1 640~1 660 nm
回损	> 18 dB	PON系统工作波长: 1 260~1 610 nm
	< 3 dB	OTDR测试波长: 1 640~1 660 nm
工作温度	-20~+70 °C	

-1 610 nm=30 nm)。综合考虑各类指标,ONU内置介质膜反射器的损耗特性模板如图6所示。



(a) 回波损耗特性模板



(b) 插入损耗特性模板

图6 ONU内置介质膜型反射器的损耗特性要求

5 反射器的标准化和产业化进展

反射器技术的应用最早由 NTT 的相关专家提出并进行了基于 FBG 的反射器应用试验。在相关试验的基础上,ITU-T 制定了 L.53 标准,明确了反射器在光接入网光线路维护中的应用场景和技术要求^[1]。2011 年,宽带论坛(BBF)

设立了“WT-287 PON Optical Layer Management”国际标准项目,推动 PON 系统的光链路测量与诊断系统架构和相关实现技术的标准化^[2]。在该项目的推进过程中,结合 PON 运营维护管理的需求,包括笔者在内的中国电信的研发团队对反射器在 OTDR 系统的作用、技术要求及实现做了大量的研究,并开展实验室测试,进一步明确了反射器在 PON 光链路测量与诊断系统中的价值。目前,反射器的相关要求已经成为国际标准 BBF WT-287 所规定的重要功能。2013 年,中国电信集团公司提出了修订 ITU-T L.53 国际标准的建议并获得 ITU-T 的采纳,目前正在进行相关的修订工作。预计在 2014 年,这两个国际标准都将完成并发布。

同时,作为全球最大的 PON 运营商,中国电信集团公司也积极地通过国内的 CCSA 行业标准和电信企业标准推进反射器的标准化^[2,3]。预计在 2014 年,反射器相关的国际、国内、企业标准都将完成,内置反射器的 ONU 将开始现网部署,为今后的 OTDR 技术规模应用奠定重要的基础。

6 结束语

由于受到同一个 PON 口下其他分支光纤背向散射信号的叠加效应影响,PON 系统对 OTDR 的灵敏度和动态范围、分辨率等性能提出了很高的要求。分光比越大,分支光纤上的衰减事件越难以检测。对于 1:32 以及更大分光比的 PON 系统,利用传统 OTDR 技术检测分支光纤上的衰减时间是不可能的。通过引入反射器,可以大幅提升 PON 系统中 OTDR 对入户光纤衰减事件的感知能力,解决传统方式下 OTDR 无法测量到入户段光纤衰减事件的难题,这已经成为业界的共识。

由于成本和安装管控等方面的考虑,业界普遍认为 ONU 内置介质膜反射器是发展的方向。本文探讨了 ONU 内置介质膜反射器的技术指标要求。反射器的标准化取得了显著的进展,已经纳入了 ITU-T、BBF 等相关国际标准,并在快速推进产业化。相信反射器必将在未来的 PON 光链路测量与诊断系统中发挥重要的作用。

参考文献

- 1 ITU-T L.53. Optical Fibre Maintenance Criteria for Access Networks, 2003
- 2 BBF WT-287. PON Optical Layer Management, 2013

(下转第 134 页)



国内电信和移动互联网市场将获得良好的发展机遇,整个市场会进入融合、创新的新阶段,新的业务和产品会不断涌现,相关行业间的界限将会打破。面对“3+N+N”这样的产业格局,市场参与者面临巨大的挑战和激烈的竞争,必须清醒地认识到自身实力,以融合、创新作为新时期发展主题,不断适应快速变化的市场环境,充分发挥互联网企业极致和快速的思维和行动文化,共同促进我国电信和互联网业的迅猛发展。

参考文献

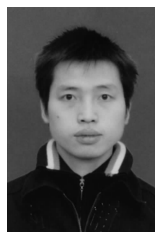
- 1 任铭. 中国电信产业管制机构的设立与运行对策研究. 法制与经济, 2010(6): 106~109
- 2 陈如明. 4G 牌照发放及发展的务实策略思考. 中国无线电, 2013(2): 13~15
- 3 陈昌川, 廖晓峰, 赵川斌. TD-LTE 无线接入网介绍. 通信技术, 2009(3): 103~105
- 4 Porter M. Competitive Strategy. New York: Free Press, 1980
- 5 Besanko D, Dranove D, Shanley M, et al. Economics of Strategy. New York: Academic Internet Publishers Incorporated, 2006

- 6 喻伟. 移动转售能否破冰再造新的竞争极. 通信世界, 2013(1)
- 7 覃敏, 王姗姗. 电信运营商遭遇 OTT. 财新《新世纪》, 2013(11): 64~66
- 8 微信官网. <http://weixin.qq.com>, 2013

作者简介



张永辉, 男, 博士, 西北大学信息学院兼职教授, 中国电信股份有限公司陕西分公司高级工程师、市场部总经理, 主要研究方向为数据挖掘、企业管理、市场营销、移动互联网技术、物联网。



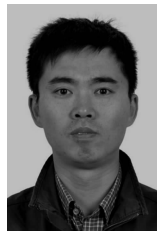
胡万里, 男, 中国电信股份有限公司陕西分公司工程师, 主要研究方向为数据分析。

(收稿日期: 2014-02-14)

(上接第 128 页)

- 3 沈成彬, 蒋铭, 杜喆等. FTTH 光链路测量与诊断技术研究. 电信科学, 2012, 28(8): 5~9

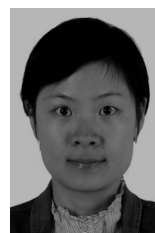
作者简介



沈成彬, 男, 博士, 中国电信股份有限公司上海研究院教授级高级工程师、技术总监, 多年从事宽带光接入与传输技术及其应用研究工作, 主导制定了多项 BBF、IEEE、ITU-T、CCSA 等国际国内标准, 先后发表了 20 多篇学术论文, 发明近 20 个专利并有 20 多项专利转化为标准, 多次获得国家级和省部级奖励。



杜喆, 男, 中国电信股份有限公司上海研究院助理工程师, 多年从事宽带光接入技术及其应用研究, 主要研究方向为 EPON/GPON 及光链路测量与诊断等, 曾先后发表过多篇学术论文, 并获得中国通信学会科学技术奖二等奖等奖项。



蒋铭, 女, 博士, 中国电信股份有限公司上海研究院高级工程师、基础网络部接入室主任, 长期从事光纤接入网的技术研究工作, 是 FSAN NG-PON2 IOP 组的联合主席和 G. 989.3 的合编者, 参与推动了 EPON 和 GPON 技术的发展和在国内的应用部署, 主导制定了多项 ITU-T、CCSA 等国际国内标准, 先后发表了 10 多篇学术论文, 发明 10 多个专利, 获得国家科技进步奖二等奖和多次省部级奖励, 目前主要研究方向为下一代 PON 技术以及 PON 的网络规划和运维。



王波, 男, 中国电信集团公司高级工程师、技术部业务经理, CCSA TC6 WG2 副主席, 多年从事宽带技术研究与技术管理, 主要研究方向为 PON、DSL、光链路测量与诊断、WLAN、网络智能化等, 主持制定了多项宽带接入领域的国际、国内行业标准和电信企业标准, 先后发表了多篇学术论文, 发明近 10 个专利, 先后获得国家科学技术进步奖二等奖和多次省部级奖励。

(收稿日期: 2014-03-28)