

# EPON 光收发模块的性能要求

陈丽, 何岩

(武汉邮电科学研究院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**文章针对 EPON 系统的各个技术特点, 分别阐述了其对系统所用光收发模块的性能参数的要求, 同时列出了 IEEE 802.3ah 对这些参数的建议, 并对目前业内 EPON 光收发模块的研发现状和今后的发展方向做了一定的分析。

**关键词:**基于以太网的无源光网络; 光收发器件; 无源光网络; 以太网

**中图分类号:** TN915.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8788(2003)01-0009-05

## Performance requirements for EPON optical transceiver

CHEN Li, HE Yan

(Wuhan Research Institute of Posts and Telecommunications, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** This article focuses on the performance parameters of optical transceiver module decided by the technology features of EPON system. It also lists these parameters suggested by IEEE 802.3ah, and analyzes the research situation and development tendency of EPON optic transceiver module.

**Key words:** EPON; optical transceiver; PON; Ethernet

### 1 概述

2001年7月,在IEEE 802局域网/城域网(LAN/MAN)标准委员会会议上,EFM 研究组提出在现有 IEEE 802.3 协议的基础上,通过较小的修改实现在用户接入网中传输以太网帧,采用千兆以太网和无源光网络(PON)相结合的技术即 EPON 技术,支持点到多点(P-to-MP)的用户网络拓扑,规定在1根光纤上以1 Gbit/s的数据传送速率,进行至少10 km距离的 P-to-MP 方式的光纤连接,最终实现用光纤进行数据、声音、视频等全业务接入的目的。EPON 的优点在于它使网络大大简化。这一优点为电信公司带来了许多好处,首先,它的运行成本低;第2,它比 SONET/ATM 容易配置;第3,为灵活供应和快速的服务重组提供了方便。第4,提供了多层安全性,例如限制用户、支持虚拟局域网(VLAN)、IP 安全(IPSec)等;最后,电信公司可以通过在 EPON 体系结构上开发广泛而灵活的服务来增加收入,例如管理防火墙、语音交易支持和 In-

ternet 接入。

但是由于 EPON 不但具有 PON 的技术特点,还具有 Gbit/s 以太网的特点,因此开发 EPON 设备并非易事,设备制造商需要解决许多技术难题,如何设计或选用光收发器件就是需要解决的核心问题之一。EPON 设备对其所用的光模块除了要求达到一般高速以太网光收发器件的标准外,还要符合高速 PON 系统的特殊指标要求。本文针对 EPON 的各个技术特点,分别阐述了其对光收发器件的指标要求和这些指标的选择范围。

### 2 EPON 的技术特点对光收发模块的要求

由 EPON 的应用方式、技术标准和解决方案可以看出,EPON 主要具有3个技术特点:(1) 速率高,可达到 1.25 Gbit/s,今后还可以向 10 Gbit/s 扩展,同时传输距离远,一般要求传输 20 km;(2) 使用时分多址(TDMA)的多路接入方式,即要求下行局端设备光线路终端(OLT)为连续码流发送,而上行远端设备光网络单元(ONU)的数据流为突发发

收稿日期:2002-09-28

基金项目:国家“八六三”计划资助项目(2001AA122022)

作者简介:陈丽(1976-),女,重庆人,硕士,主要研究方向为光接入网。

送; (3) 采用单纤双向, 上下行方向使用不同波长 (1 310 nm/1 490 nm) 的光源, 实现全双工的工作方式. 这些技术特点, 使 EPON 设备对光收发模块的性能和参数有一些特殊的要求, 不能简单地选用一般以太网光收发器件. 下面就针对 EPON 的几个技术特点, 分别论述其对光收发器件的要求.

### 2.1 速率与传输距离对光收发模块的要求

在高速光通信系统中的光发送机使用 FP 激光器或者 DFB 激光器. 由图 1 可见, 使用 FP 激光器作为光发射机时, 其传输速率和传输距离成反比, 因此传输距离是根据传输速率和实际网络的应用来权衡决定的. 一般 EPON 多用于光纤到路边 (FTTC)、光纤到家庭 (FTTH) 和光纤到大楼 (FTTB), 其中 FTTC 是目前使用 EPON 最经济的配置. 考虑到这些因素, IEEE 802.3ah 建议 EPON 中承载千兆以太网帧的速率为 1.25 Gbit/s, 同时传输距离要求为 10 或者 20 km. 为了满足这一速率要求, 就需要对光收发器件的一些参数做一定的限制.

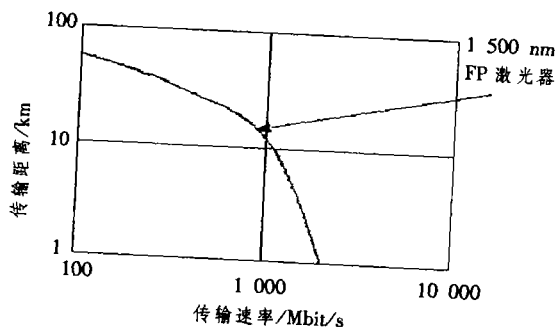


图1 使用FP激光器时传输距离和传输速率的关系<sup>[1]</sup>

#### 2.1.1 对激光器的参数要求

当速率为 1.25 Gbit/s 时, 每个“1”或者“0”所占据的宽度为  $T = 800$  ps, 因此需要很高的调制速率. 然而在高速调制时, 将发生与动态光谱展宽等效的动态波长移动 (啁啾所致)<sup>[2]</sup>, 这是由于载流子浓度震荡引起折射率变化而导致的波长在调制周期内的周期性移动. 因而激光器的动态光谱展宽就是一个很重要的参数, 图 2 给出了 FP 激光器的色散与传输速率的关系, 从图中可以看出, 色散越小, 所能达到的最大传输速率也就越大. 而 DFB 激光器与 FP 激光器相比, 动态光谱展宽很小, 因而适合高速调制.

高速光通信系统要求光收发器件的激光器为动态单纵模 (SLM) 工作, 这一方面是为了避免由于光

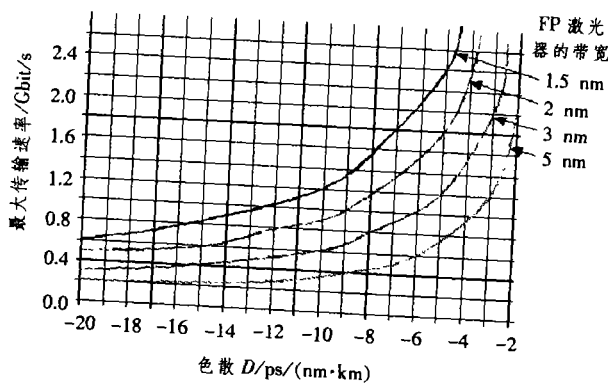


图2 色散与传输速率的关系<sup>[1]</sup>

功率在各个纵模之间随机分配所产生的模分配噪声; 另一方面纵模的减少也是得到窄的光谱线宽所必须的, 窄的线宽有利于减少高速光通信系统中光纤色散的影响. 通常使用 -20 dB 的光谱线宽来衡量它在高速情况下抗光纤色散影响的能力<sup>[2]</sup>.

然而一些激光器在高速调制时会由于模分配噪声、啁啾等现象使光谱加宽、边模抑制比下降而出现多纵模, 使系统性能下降. 通常使用边模抑制比 (即第 1 阶边模的功率与主模功率之比) 来作为激光器单模性能的衡量标准<sup>[2]</sup>. 通常对于传输速率在 1 Gbit/s 以上的光纤通信系统, 要求激光器的边模抑制比在 30 dB 以上. 一般的 FP 激光器的谐振腔中, 各个纵模分量在腔内得到的反馈量是相同的. 而在 DFB 激光器中, 谐振腔具有对某一波长选择反馈的作用, 因而具有较好的纵模特性<sup>[2]</sup>. 由于 EPON 的 OLT 对其光收发器件的性能要求比较高, 所以其中的激光器一般都选用 DFB 激光器.

对数字通信而言, 还希望有较大的消光比, 因为消光比越高, 付出的功率代价就越小. 但是在高速调制时, 由于激光器有较大的张弛震荡而产生过量的啁啾<sup>[2]</sup>, 所以消光比也不能过大.

此外, 对激光器的发射波长也有一定的要求. 一般当传输速率小于 100 Mbit/s、传输距离小于 20 km 时, 选择 850 nm 附近的波长较为合适. 对于传输速率大于 200 Mbit/s 的长距离通信系统, 则需要选择 1 300~1 600 nm 的工作波长.

#### 2.1.2 对光电探测器的参数要求

InGaAs-InP 光电二极管一直是 1 310 和 1 550 nm 光通信系统中光电探测器 (PD) 的基础. 最常用的 PD 是 PIN 光电二极管和雪崩光电二极管 (APD), 两者都是通过吸收光能产生电流. 通信中

应用的高速光电探测器的基本要求是高灵敏度和快速响应速率。灵敏度是描述光电探测器检测光信号能力的一种重要的性能指标,它与系统要求的误码率的指标有关。高性能光纤通信系统一般要求误码率为  $10^{-12}$ ,而灵敏度就定义为接收机在误码率为  $10^{-12}$ 时所要求的最小平均接收光功率。在高速、长距离传输的系统中,色散会导致灵敏度严重劣化,因此需要选择灵敏度性能较好的光电探测器。对于 1 Gbit/s 的通信系统,灵敏度一般要大于  $-30$  dB。而且还要根据传输距离的远近来选择灵敏度参数。由于 APD 比 PIN 具有更高的响应度,能够探测到更小功率的光信号,所以,在 EPON 系统中传输距离要求 20 km 时,光收发器件中的探测器一般要求使用 APD。

无论是发送机(激光器)还是接收机(光电探测器),对反馈的光都极为敏感。在光纤通信中,由于熔接点、活动连接点和光纤末端等处的折射率不连续,必然存在一定的反射光,即使很少量的反射光也会引起半导体激光器输出附加噪声、加宽光谱线宽。同时在熔接点和活动连接点之间的多次反射会产生附加强度噪声,使接收机性能劣化。因此对于光模块的选择来说,反射光功率也是需要考虑的问题之一。

## 2.2 TDMA 方式的多路接入对光模块的要求

PON 的上行多路接入的实现方案可以有波分多址(WDMA)、TDMA 和码分多址(CDMA)3 种。使用 WDMA 可以提供高带宽,实现起来也最简单。但是 OLT 对应每个 ONU 都要有发送特定波长的激光器,而且每个 ONU 的发送机也必须有波长特定的激光器,在添加一个新的 ONU 时,还需要确定 OLT 是否有保留的发射机。这样就会使成本增加,而且可扩展性也不好。如果使用 TDMA 方式,那么无论连接了多少个 ONU,OLT 都只需要一个发射机,但是它要求各 ONU 同步,所以实现起来比较复杂。使用 CDMA 方式可以不限用户的数量,而且保密性好,但是随着用户数的增加,各个频段的干扰也加强了,更重要的是物理器件必须能处理比用户数据的传输速率更高的信号速率,复杂性较高。由此可见,比较而言 TDMA 是最佳的解决方案<sup>[3]</sup>。

由于采用 TDMA 的复用方式,每个 ONU 只在允许自己发送的时间段才能发送数据,因此在上行方向上,ONU 的发送是突发的,OLT 的接收也是突发的。而在下行采用广播方式连续发送数据流,每个 ONU 都能接收到 OLT 的信号,而不管这个信号是否是给它自己的,因此下行方向,OLT 的发送是连

续的,ONU 的接收也是连续的。

虽然对于使用 155 或者 622 Mbit/s 的基于 ATM 技术的 PON(APON)和 1 Gbit/s 的 EPON,其复用方式都相同,但是由于速率的不同,并且其中承载的数据帧格式也不同,因此对于光收发器件突发模式的参数要求也就不同。一般对于突发模式有下列几个参数是需要注意的,如图 3 所示。

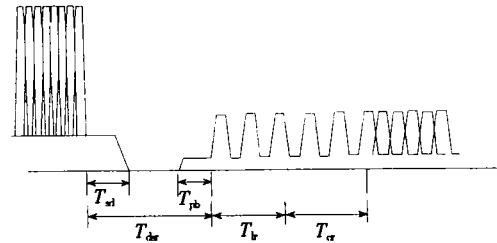


图 3 突发参数示意图<sup>[4]</sup>

图中,  $T_{sd}$  为激光器的关断时间,即 ONU 从一个稳定发送数据的状态转变为“OFF”状态所需要的最大的时间;  $T_{pb}$  为激光器的预偏置时间;  $T_{dsr}$  为动态灵敏度恢复时间。由于各 ONU 传输距离不同,或者光模块不同等原因,从不同 ONU 来的信号电平可能不完全相同,所以 OLT 需要调整它的灵敏度;  $T_{tr}$  为电平恢复时间;  $T_{cr}$  为时钟恢复时间,OLT 与 ONU 同步所需要的最大时间。

其中,  $T_{pb}$ 、 $T_{tr}$  和  $T_{cr}$  之和就是 ONU 光模块的“Turn-ON”时间,即 ONU 光模块从不发送数据的状态(OFF)转变成为稳定发送数据的状态(ON)所需要的最大时间。例如某个 ONU 在其时隙中开始的时间。这对于动态突发模式是一个非常重要的参数。

对于 TDM 系统所使用的光模块,还需要考虑的参数是 ONU 处于“OFF”状态时的功率,也可以称为漏光(Leakage)的功率,此时光模块处于开状态,但是并没有发送数据,比如处在别的 ONU 发送数据的时隙<sup>[5]</sup>。控制“OFF”能量主要是为了在几个、甚至所有的 ONU 都处于“OFF”状态时,发出的总的功率不会干扰到 OLT 光模块对信号的接收。

同时还要考虑 OLT 和 ONU 光模块收发的孤立性<sup>[5]</sup>,这个参数可在光模块或者光纤的端面上测量。孤立性主要是为了防止来自发送信号的噪声和串扰。

## 2.3 单纤双向全双工通信对光模块的要求

由于单模光纤具有内部损耗低、带宽大、易于升级扩容和成本低的优点,因而得到了广泛应用。从 20 世纪 80 年代末起,我国国家干线网上敷设的都

是常规单模光纤. 常规单模光纤同时具有 1 550 和 1 310 nm 两个窗口, 最小衰减窗口位于 1 550 nm 处. 国际上多数商用光纤在 1 310 nm 窗口的衰减都为 0.3~0.4 dB/km; 在 1 550 nm 窗口的衰减为 0.19~0.25 dB/km. 考虑到成本和通用性等问题, 在 PON 中, 无论是 APON, 还是 EPON, 都使用 G.652 光纤. 为了同时传送上行和下行两个方向的数据业务, 一般采用单纤双向. 在单纤双向系统中可使用 1 550 nm/1 310 nm, 1 490 nm/1 310 nm 这样几种波长, 在 APON 中光收发器件多使用 1 550 nm/1 310 nm 这两种波长, 而在 EPON 中使用的光收发器件目前都倾向于使用 1 490 nm/1 310 nm 的波长. 因此针对单纤双向的特性, 在选择 EPON 光模块的时候, 需要考虑双向 WDM 器件的一些参数.

WDM 系统的一个重要特点是在光波分复用器处输入的信号均为固定波长的光信号, 各个通路的信号波长不同, 而且对中心频率偏移有严格规定. 两个通路如果波长偏移过大, 就会造成通路间的串扰过大, 产生误码.

使用双向 WDM 技术的光模块时, 必须考虑 WDM 器件的多通路干扰 (MPI) 和光反射的影响, 另外还需考虑串音 (串音是由于波分复用/解复用器不完善带来的串扰)、两个方向传输功率电平数值、光监控通路 (OSC) 传输和自动功率关断等一系列问题.

目前的光通信市场竞争越来越激烈, 要求通信设备的体积越来越小, 接口板包含的接口密度越来越高, 这就要求光器件高度集成, 封装更小. 而如果光模块支持热插拔, 那么网络管理人员无需关闭网络就可升级和扩展系统, 对在线用户不会造成什么影响. 同时热插拔性也可以简化总的维护工作. 因而在选择 EPON 系统中使用的光收发器件时, 除了要对上面所介绍的参数做出选择以外, 还需要注意光器件的封装、功耗和热插拔等性能. 同时由于平面波导技术具有适于批量生产、重复性好、尺寸小、可以在光掩膜过程中实现复杂的光路和与光纤的对准容易等等优点, 许多光器件厂家在研制高速光收发模块方面都逐渐倾向于使用平面波导技术.

### 3 IEEE 802.3ah 对 EPON 的物理介质相关 (PMD) 参数建议<sup>[4]</sup>

IEEE 802.3ah 中对 EPON 系统 PMD 参数的要求见表 1~4. 其中类型 1 对应 10 km 以内的传输距离; 类型 2 对应 20 km 以内的传输距离.

表 1 局端 PMD 发射参数

名称	类型 1	类型 2
速率/Mbit/s	1 250	
工作波长/nm	1 480~1 500	
编码	8B10B	
平均发射光功率/dBm	-4~+0	+1~+5
消光比/dB	>9	
SLM 激光器衰减到 -20 dB 的谱宽/nm	1	
SLM 激光器最小的边模抑制比/dB	30	

表 2 局端 PMD 接收参数

名称	类型 1	类型 2
误码率	<10 <sup>-12</sup>	
最小灵敏度/dBm	-26	-29
最小过载/dBm	-3	-8
动态灵敏度恢复最长时间/bit	待定	
电平恢复最长时间/bit	待定	
时钟恢复最长时间/bit	待定	

表 3 远端 PMD 发射参数

名称	类型 1	类型 2
速率/Mbit/s	1 250	
工作波长/nm	MLM 1 270~1 360 SLM 1270~1360	
编码	8B10B	
对发射波长的回波损耗/dB	<-6	
平均光功率/dBm	-3~+2	
没有进入发射器的发射光功率/dBm	-39	
消光比/dB	>9	
激光器的预偏置时间/bit	待定	
激光器的关断时间/bit	待定	
MLM 激光器最大 RMS 宽度/nm	2.4	1
边模抑制比/dB	-	30

表 4 远端 PMD 接收参数

名称	类型 1	类型 2
误码率	<10 <sup>-12</sup>	
最小灵敏度/dBm	-25	
最小过载/dBm	-5	

## 4 EPON 光模块的研发现状

据悉,目前业界仅有两家公司宣称开发出了 EPON 光模块,即日本的 OKI 公司和 Broadlight 公司,但是两家公司都没有大规模生产.在国内有“八六三”上海光电基地(博为公司)准备研发 EPON 光模块,预计将在 2003 年底推出产品.

EPON 设备所使用的光模块主要由以下几部分组成:波分复用器、激光器、光电探测器、自动门限控制电路(ATC)、时钟数据恢复电路(CDR)等.图 4 和 5 分别为 Broadlight 公司和 OKI 公司的 OLT 端光模块的原理框图,由原理图可知 OKI 公司的光模块没有 CDR 电路,同时 OKI 公司的光模块还需要外加 ATC 复位信号,那么在 EPON 系统的局端单盘上需要增加 CDR 电路,并需要根据此光模块的要求在电路上实现 ATC 复位.而 Broadlight 公司的光模块具有 CDR 电路,在局端设备的 OLT 单盘中就不需要外加 CDR 电路,给设备制造提供了方便.但是两者的光模块都需要外加的伺服信号,比如 CDR 和 ATC 的复位信号等,这样使得光模块对外部电路有一定依赖性,对系统的适应性和独立性不是很好.显然,具有 CDR 功能,同时又不需要伺服信号的突发光模块是业界努力的方向.

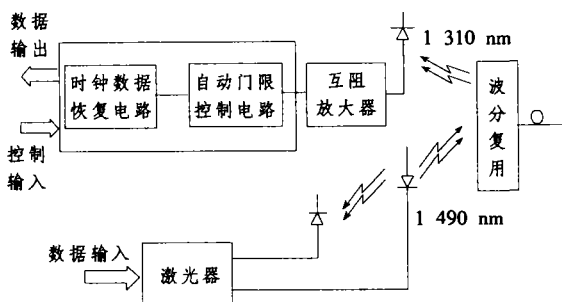


图 4 Broadlight 公司 OLT 光模块的原理框图

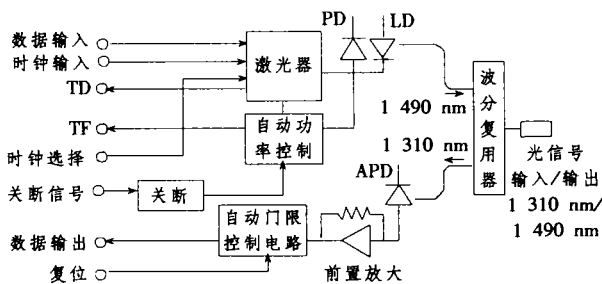


图 5 OKI 公司 OLT 光模块的原理框图

## 5 结束语

目前越来越多的公司已经认识到:要达到 FT-TH 的目标,EPON 是最好的解决方案.而对于 PON 技术,由于其技术特点对光收发器件有着特殊的要求,因此选择合适的光收发器件是实现方案和降低成本的重要因素.本文着重从 EPON 的技术特点出发,阐述了 EPON 系统制造者在选择光收发器件时,应该注意哪些参数,分析了器件制造商在研究光模块时应权衡的因素,并列表说明了目前 IEEE 802.3ah 对 EPON 系统的 PMD 层的建议,希望这些对业界有一定的参考价值.

### 参考文献:

- [1] Robert S Carlisle. Ethernet PON fiber considerations [EB/OL]. [http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm/public/oct02/index.html/carlisle\\_1\\_0901.pdf](http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm/public/oct02/index.html/carlisle_1_0901.pdf), 2001-10/2002-09.
- [2] 黄德修,刘雪峰. 半导体激光器及其应用 [M]. 北京:国防工业出版社,1999.
- [3] Glen Kramer, Biswanath Mukherjee, Gerry Pesavento. Ethernet PON (EPON): Design and analysis of an optical access network [EB/OL]. [http://networks.cs.ucdavis.edu/publications/2001\\_Kramer\\_2002\\_06\\_08\\_04\\_27\\_58.pdf](http://networks.cs.ucdavis.edu/publications/2001_Kramer_2002_06_08_04_27_58.pdf), 2001-06/2002-09.
- [4] Frank Effenberger. P2MP PMD baseline [EB/OL]. [http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm/public/mar02/indix.html/effenberger\\_1\\_0302.pdf](http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm/public/mar02/indix.html/effenberger_1_0302.pdf), 2002-03/2002-09.
- [5] Bartur, Meir. Feasible parameters for EPON transceivers [EB/OL]. [http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm/public/oct02/index.html/diab\\_1\\_0901.pdf](http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm/public/oct02/index.html/diab_1_0901.pdf), 2001-09/2002-09.