

# 10 Gbit/s EPON 非对称 ONU 光模块的设计

彭舒畅<sup>1,2</sup>, 张雅青<sup>1,2</sup>, 高繁荣<sup>1,2</sup>

(1. 光纤通信技术和网络国家重点实验室, 湖北 武汉 430074; 2. 武汉电信器件有限公司, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**文章重点介绍和讨论了 10 Gbit/s EPON(以太网无源光网络)非对称 ONU(光网络单元)光模块的组成和关键技术,特别是发射硬件电路的构成和数字 APC(自动光功率控制)的原理,同时也介绍了接收部分的实现,给出了合理的设计方案且通过实验进行验证。实验结果表明,采用该方案设计出的光模块能满足国际标准要求,可以广泛应用于光通信领域。

**关键词:**光网络单元光模块;非对称;数字自动光功率控制

**中图分类号:**TN256 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8788(2011)06-0015-04

## Design of 10 Gbit/s EPON asymmetric ONU optical modules

Peng Shuchang<sup>1,2</sup>, Zhang Yaqing<sup>1,2</sup>, Gao Fanrong<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Optical Communication Technologies and Networks, Wuhan 430074, China;  
2. Wuhan Telecommunication Device Co., Ltd., Wuhan 430074, China)

**Abstract:** This paper focuses on the composition and key technology of 10 Gbit/s EPON asymmetric ONU optical modules, especially on the structure of the emitting hardware circuits and the principle of the digital Automatic Power Control (APC), introduces the realization of the receiver section and gives a rational design scheme, which is verified in experiments. The results indicate that the optical modules designed in this scheme conform to the requirements of the international standards and can be extensively applicable in the field of optical communications.

**Key words:** ONU optical module; asymmetric; digital APC

## 0 引言

随着 2009 年 IEEE Std. 802.3av 10 Gbit/s EPON(以太网无源光网络)(以下简称 10 G EPON)标准获得批准,各大光通信供应商和设备商都积极地投入其研发和生产。10 G EPON 光模块分为对称模块和非对称模块,对称模块即上下行均为 10 Gbit/s,非对称模块为上行 1.25 Gbit/s、下行 10 Gbit/s。10 G EPON 系统是 1 Gbit/s EPON 系统的平滑升级,而非对称的 10 G EPON 系统是中间阶段,目前市场有很大需求。

由于一个 OLT(光线路终端)对应多个 ONU(光网络单元),所以 10 G EPON 中 ONU 光模块的发展直接影响 10 G EPON 在整个市场的推广。ONU 光模块采用的是突发发射和连续接收<sup>[1]</sup>。本文重点介绍和讨论基于一款激光驱动器的非对称 ONU 光模块的组成和关键技术,并通过实验验证方案的可行性。

## 1 10 G EPON 非对称 ONU 光模块简介

10 G EPON ONU 光收发合一模块是用于 10 G EPON 系统的光/电转换器件,它采用 1.25 Gbit/s

的突发式发射和 10.312 5 Gbit/s 的连续式接收。发射部分由一个 1310 nm 的 DFB(分布反馈式)激光器和一个突发式激光驱动器组成,驱动电路包括数字 APC(自动光功率控制)电路和用于保持消光比稳定的温度补偿电路。接收部分则采用集成了 TIA(跨阻放大器)的 1577 nm 的 APD(雪崩光电二极管)和速率可调的 LA(限幅放大器)。发射和接收参数的监控是根据 SFF-8472 协议由单片机实现的。

由于发射端采用的是突发式发射,所以如何快速实现激光器的开启和关断是光模块设计的难点,根据 IEEE Std 802.3av 协议的要求,激光器的开启和关断时间必须 < 512 ns;另外,由于消光比的稳定性会影响接收端灵敏度,所以要求消光比在满足协议中规定的 > 6 dB 的基础上尽可能大,且在宽温度范围内在 ± 2 dB 内变化,为此也必须保持光功率在该温度范围内的稳定(规定光功率为 -1 ~ 4 dBm,变化控制在 1 dBm 范围内。)

## 2 10 G EPON 非对称 ONU 光模块的设计

### 2.1 设计方案

本文对 10 G EPON 非对称 ONU 光模块的设

收稿日期:2011-06-20

作者简介:彭舒畅(1986-),男,湖北武汉人,工程师,硕士研究生,主要从事高速光模块的研究工作。

计方案进行了讨论,其结构由 BOSA (单纤双向组件)、发射、接收和监控 4 部分组成,如图 1 所示。

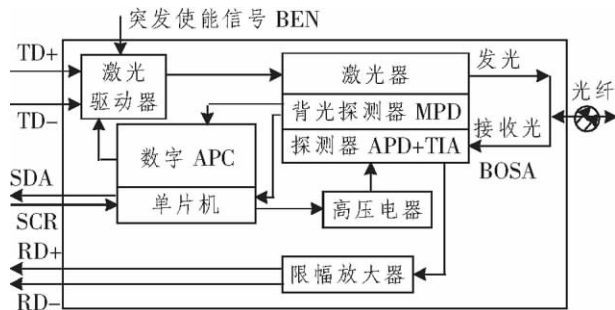


图 1 ONU 光模块结构图

发射电路主要实现激光器与驱动器之间的匹配,将电信号转换成光信号,设置激光器的发光功率和消光比。在 MCU(微处理单元)中设计了数字 APC 电路,在闭环状态下保持光功率的稳定,同时将每个温度点下对应的数值以表的形式写入单片机,当温度发生变化致使激光器的斜效率发生改变时,可以通过单片机查找表和 D/A(数/模)转换改变调制电流值,从而使得消光比不会发生较大变化。接收端由于 APD 需要高压电路,所以通过上位机软件手动设置高压值以及 APD 的典型斜效率值,这样电路就可以随着温度的变化给 APD 输入所需的高压,保证 APD 正常工作,进而保证灵敏度在理想范围内变化。

### 2.2 发射端硬件电路的实现

激光驱动器包括一个偏置电流发生器、偏置电流监视器、调制电流发生器、激光驱动输出和监视二极管的采样/保持电路。硬件上驱动器利用一个电压源和两个运算放大器,通过接地电阻设置调制电流和偏置电流,软件上是通过 MCU 实现的,MCU 采用两路 PWM(脉宽调制)来调制激光器的偏置电流和调制电流。驱动输出采用直流耦合进入激光器<sup>[2]</sup>,这样的好处是直流耦合输出能够适应较宽的调制频率,输出仅需要 2~4 个外部元件连接激光器,因为元件少,所以在匹配激光器与驱动器时需要考虑的寄生参数较少<sup>[3]</sup>。

图 2 所示为发射部分的硬件电路,LDD 即为激光驱动器,图中  $C_{10}$  和  $R_9$  的作用是通过降低激光器的峰值匹配输出,输出峰值由激光器引线电感产生, $C_{10}$  和  $R_9$  的取值是通过实验方法获得的。与 OUT+ 连接的电阻的作用是抑制激光器寄生电感导致的激光器上冲和振铃。当 BEN 输入为高电平时,激光驱动器按照调制和偏置电流引脚的设置吸收偏置电流和调制电流;当 BEN 输入为低电平时,

BIAS+ 和 OUT+ 端的电流将在 2 ns 内关断。只有存在光输出(BEN 有效)时,才产生激光监视二极管电流,当 BEN 处于无效状态时,监视电流为零,说明激光器关闭。驱动芯片内部具有采样/保持电路,由 BEN 输入触发,在 BEN 有效期间,MDIN 上的电压存储于内部采样/保持电容中。 $R_7$  和  $C_9$  组成的补偿电路的作用是补偿 MDOUT 的较低电压, $C_8$  的作用是滤波,减小电压偏移造成的影响。

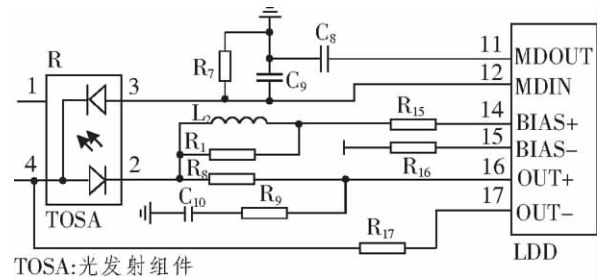


图 2 发射部分的硬件电路

### 2.3 突发式发射的实现

在突发模式下,当没有 BEN 信号进入时,MPD 不会检测到发光功率,如果采用传统的模拟 APC 环路,此时就会不断地增加偏置电流,最终导致激光器被击穿或者由于电路保护功能导致发射关断<sup>[4]</sup>。如果采用数字 APC,随着数字 APC 中计数器计数值的增大,单片机会通知激光驱动器关断偏置电流输出,同时 BEN 信号也会关闭驱动芯片的调制信号,实现激光器输出光的快速关闭。

图 3 所示为数字 APC 原理图。当模块接收到

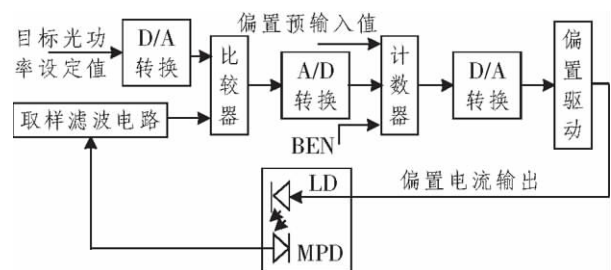


图 3 数字 APC 原理图

外部 BEN 信号后,数字 APC 将预先设置好的偏置电流输出,使激光器快速开启,驱动器开启调制电流,激光器将电信号转换为光信号。同时,激光器组件中的 MPD 将探测到的光电流通过取样滤波电路转换成电压信号,并与设定的目标光功率值进行比较,比较产生的差值经过 A/D(模/数)转换后输入到 APC 计数器,使输出的偏置电流在预偏置的基础上增大或者减小,直至达到目标值,并将最终设定的偏置电流值存储于寄存器中。当激光器的阈值电流或者斜效率发生变化时,会在前一个已经存储在寄

寄存器中的电流值的基础上进行调整,从而减小等待功率环路稳定的时间,实现在突发情况下发光功率的快速稳定。值得注意的是,由于 BEN 信号进入的瞬间相当于开环状态,紧接着将会进入闭环状态,为了保证两种状态转换瞬间光功率不至于跳变,必须使偏置预输入值所得到的光功率与目标光功率设置接近。

#### 2.4 接收部分

为了得到较高的灵敏度,ONU 光模块接收部分采用了 1 577 nm APD 和 10 Gbit/s 的 LA。APD 需要的工作电压都是几十伏,为保证 APD 的正常工作,必须引入高压电路及相应的温度补偿措施。在实际应用中,APD 高压电路一般由升压电路、倍压电路和温度补偿电路构成,如图 4 所示。

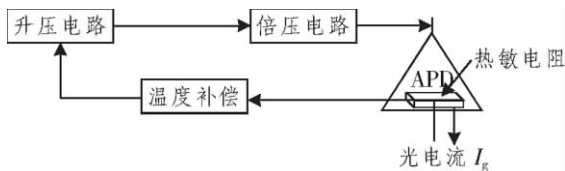


图 4 APD 高压电路结构

升压电路一般采用非常成熟的 DC/DC 升压芯片,通过升压变换器将模块的 3.3 V 供电电压转换成 20、30 多伏的高压,但在一般情况下 APD 需要更高的电压,因此需要对变换器输出的电压进行倍压处理,以达到 APD 所需要的电压,保证其正常工作。由于 APD 属于对温度极为敏感的器件,在 APD 内部集成了负温度系数的热敏电阻,热敏电阻把外界温度的变化传感到变换器,通过这种方式使 APD 高压能够随温度变化调整其大小。

APD 将光信号转换为电信号后经内置的 TIA 放大,内置 TIA 将电流信号转换成电压信号后进入 LA,由于具有高频信号分量的快速上升沿比慢速上升沿衰减要快得多,所以必须在 LA 中进行预偏置补偿高频损耗,即去掉一些低频分量(均衡),或者加入额外高频分量(预加重),放大后的信号以交流耦合形式输出。

### 3 模块测试

根据 IEEE Std. 802.3av 标准的要求,非对称 ONU 光模块的光开启和关断时间均要  $< 512$  ns,消光比  $> 6$  dB,光功率为  $-1 \sim 4$  dBm,在 BER(误码率)  $< 10^{-3}$  时,灵敏度要求优于  $-28.5$  dBm。针对上述要求,我们对模块样品进行了性能测试。

#### 3.1 突发式发射的开关时间

经测量得到突发开启时间为 21.6 ns,突发关断

时间为 8.8 ns,均满足  $< 512$  ns 的国际标准。

#### 3.2 发射端的主要指标

在对 ONU 光模块进行数据加载和发射功率校准后,即可通过软件、光功率计和高速示波器测试其偏置电流、发光功率和消光比等参数,还可以通过软件手动设置 PWM 值来优化发射眼图并使消光比在宽温度范围内 ( $-40 \sim +85$  °C) 基本上保持稳定。图 5 所示为在宽温度范围内的发射眼图。由图可见,发射眼图的质量满足标准中模板的要求,模板余量为 30%。

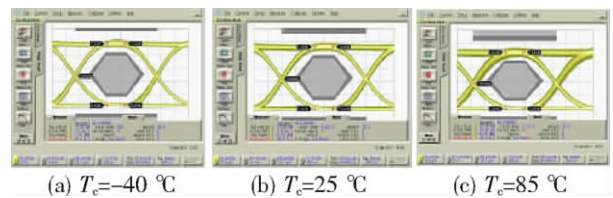


图 5 宽温度范围内的发射光眼图

偏置电流、发光功率和消光比的测试结果见表 1。由表 1 可见,消光比、发射光功率均满足标准规定的值,且在全温度范围内指标变化较小。

表 1 全温度范围内的测试结果

指标	-40 °C	25 °C	85 °C
偏置电流/mA	6	10	32
发射光功率/dBm	2.9	3.1	2.8
消光比/dB	13.8	13.6	13.6

#### 3.3 接收端的主要指标

采用 10.312 5 Gbit/s 的速率、PRBS(伪随机二进制序列) 31 阶码进行接收端测试,在误码率为  $10^{-3}$  的条件下测得的灵敏度如图 6 所示。该指标完全满足  $< -28.5$  dBm 的国际标准。

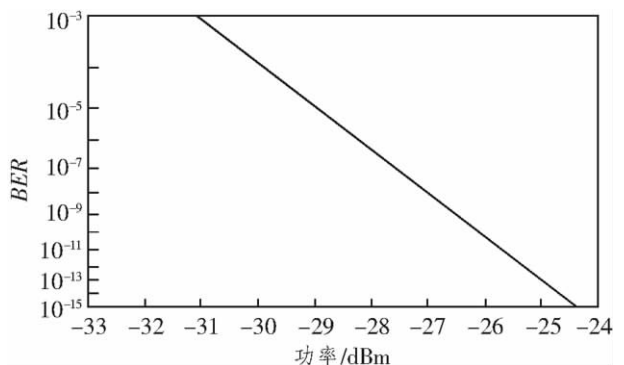


图 6 灵敏度—误码率关系图

### 4 结束语

本文介绍了 10 G EPON 非对称 ONU 光模块的基本构成,着重介绍了发射部分的驱动电路和数字 APC 的原理。10 G EPON 系统是 1 G EPON 系

统的平滑升级,而 10 G EPON 非对称光模块是个过渡阶段,最终将会实现对称模块。目前,武汉电信器件有限公司的非对称 ONU 光模块已经量产,各项参数指标均能达到国际水平,不久还将会推出对称的光模块。

#### 参考文献:

- [1] IEEE Std. 802.3av-2009, IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CS-

MA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Gbit/s Passive Optical Networks [S].

- [2] MAXIM. HFAN-01.0: LVDS、PECL 和 CML 介绍 [EB/OL]. <http://china.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/291>, 2004-11-26.
- [3] 程木, 吴重庆. 激光器驱动和激光器之间的高速连接 [J]. 光学学报, 2009, 29(5): 1168-1172.
- [4] 李维中, 刘文涛. 突发模式收发器芯片组的设计 [EB/OL]. <http://www.chinabaike.com/z/xinxihua/268638.html>, 2011-02-01.

(上接第 7 页)

平均吞吐量比算法 2 提高了约 49%。

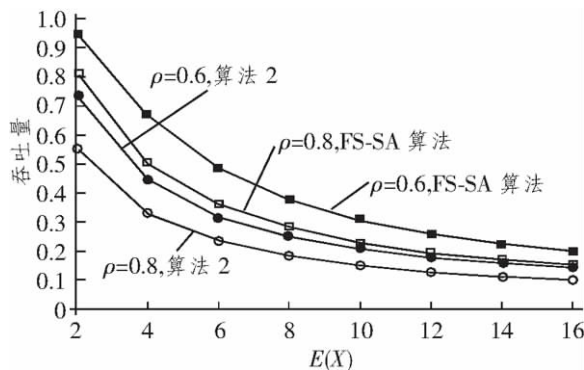


图 5 FS-SA 算法和算法 2 在不同组播扇出数目下吞吐量对比

从图 5 可以看出:节点吞吐量随着组播扇出数目增大而减小。当组播扇出数目过小或过大时,FS-SA 算法的节点吞吐量提高比例会随之减小,特别是在  $\rho = 0.6$ 、 $E(X) = 2$  和  $E(X) = 16$  两种情况下,吞吐量仅增加 28% 和 35%,明显低于平均值 44%。而当组播扇出数目达到一半左右,  $E(X) = 6$  和  $E(X) = 8$  时,FS-SA 算法的性能达到最优,吞吐量提高了将近 51%。

## 4 结束语

在 OPS 节点中选择一组无冲突的连接请求来实现组播,是一个 NP 难题。针对“一次发送”模型下的算法不能充分利用端口资源的缺点,本文基于 SPN LRWC 的 OPS 结构,提出了一种支持扇出分割能力的光组播调度算法—FS-SA 算法,仿真结果

表明,该算法与已有算法相比较显著提高了节点的吞吐量。

#### 参考文献:

- [1] Huang Q, Zhong W D. A Wavelength-Routed Multicast Packet Switch With a Shared-FDL Buffer [J]. Lightwave Technology, 2010, 28(19): 2822-2829.
- [2] Hamad A M, Kamal A E. Multicast Grooming Algorithm in Waveband Switching Optical Networks [J]. OPT COMMUN NETW, 2010, 2 (7): 481-495.
- [3] Zhang Zhenghao, Yang Yuanyuan. Multicast Scheduling in WDM Switching Networks [A]. IEEE International Conference on Communications, 2003 [C]. Anchorage: IEEE, 2003. 1458-1462.
- [4] 孟会敏, 邱琪, 张泰. 基于有限波长变换器的组播调度算法研究 [J]. 光通信技术, 2008, 32(3): 59-61.
- [5] Kwon Young Hwan, Jung Bok Rae, Wong Elaine. Multicast Scheduling Mechanism to Support Less Loss Ratio for Frequently Used Multicast Service in Multicast Switch [A]. Proceedings of the 23rd International Conference on Information Networking, 2009 [C]. Chiang Mai: IEEE, 2009. 1-5.
- [6] 李玲香, 李季碧, 姜涛, 等. 光分组交换节点结构及性能研究 [J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2006, 18(2): 183-186.
- [7] Eramo V, Listanti M, Spaziani M. Resources Sharing in Optical Packet Switches with Limited-Range Wavelength Converters [J]. Lightwave Technology, 2005, 23(2): 671-687.