

100 Gbit/s CFP 光收发模块的研究

林 韬^{1,2}, 胡 毅^{1,2}, 张武平^{1,2}, 陈晋敏^{1,2}

(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:随着网络流量的持续增长,100 Gbit/s 以太网已开始商用,100 Gbit/s 以太网的客户侧光模块为 100 Gbit/s CFP(小型可插拔式)光收发模块。文章介绍了 100 Gbit/s CFP 光收发模块的相关标准,并给出了一种模块的设计方案。该模块由速率转换单元、发射单元、接收单元及控制单元组成。依照 IEEE 802.3ba 标准对模块进行了测试,结果显示该模块单通道发射平均光功率达到了 1.47 dBm,接收灵敏度达到了-9.5 dBm,各项性能完全符合相关标准,能够应用于 100 Gbit/s 以太网中。

关键词:100 Gbit/s 以太网;100 Gbit/s CFP 光模块;CFP 多源协议;IEEE 802.3ba 标准

中图分类号:TN256 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-8788(2012)05-0043-03

Research on 100 Gbit/s CFP optical transceiver modules

Lin Tao^{1,2}, Hu Yi^{1,2}, Zhang Wuping^{1,2}, Chen Jinmin^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Optical Communication Technologies and Networks, Wuhan 430074, China;

2. Wuhan Telecommunication Device Co., Ltd., Wuhan 430074, China)

Abstract: With the sustained growth of internet traffic, 100 Gbit/s Ethernet has gradually become commercially available. Its client optical module is a 100 Gbit/s CFP optical transceiver module. This paper introduces the relevant standard of this module and describes the design scheme of a kind of module, which consists of rate conversion unit, transmitting unit, receiving unit and control unit. Tests are performed in the light of IEEE Std. 802.3ba and the results indicate that the average launch power in each lane is 1.47 dBm and the receiver sensitivity is -9.5 dBm. This means that the performances of this module entirely conform to the relevant standards and can be applied in 100 Gbit/s Ethernet.

Key words: 100 Gbit/s Ethernet; 100 Gbit/s CFP optical module; CFP MSA; IEEE 802.3ba standard

0 引言

随着视频点播、云计算等数据业务的高速发展,网络运营商、数据中心等企业网络流量的需求迅猛增加,100 Gbit/s(以下简称 100 G)以太网已开始标准化和商用化^[1]。2010 年 7 月颁布的 IEEE 802.3ba 已成为业内公认的 100 G 以太网标准^[2]。100 G 以太网客户侧光模块为 100 G CFP(小型可插拔式)光收发模块,其特点是集成度高、支持热插拔,且技术方案较成熟。它的主要应用领域为核心路由器、交换机和超级计算机^[3]。本文给出一种符合 IEEE 802.3ba 标准的 100 G CFP 光收发模块的设计方案,并通过对该模块的性能测试,验证其在 100 G 光传输网络中应用的可行性。

1 100 G CFP 光模块相关标准

IEEE 802.3ba 标准规定了 100 G 以太网在传输中采用的线缆类型和信号处理方式,采用分层体系将物理层分为 RS(调和)子层、PCS(物理编码)子层、FEC(前向纠错)层、PMA(物理介质接入)子层和 PMD(物理介质相关)子层^[2]。其中,RS 层将

MAC(介质访问控制)层串行比特流数据转换成 64 B 的并行形式,并传输到 PCS 层。PCS 层主要完成 64 B/66 B 编码以及码块的分发与重组,采用 MLD(多通道分发机制)处理 100 G 数据流,对数据进行多通道的并行分发,降低对硬件时钟频率的要求。PMA 层完成电信号的复用、解复用、定时及校准。PMD 层主要完成信号的光电转换。

IEEE 802.3ba 标准中没有规定 100 G 网络客户侧光模块的封装形式。而主流光模块厂商共同创立的 CFP 多源协议规定了 100 G 传输网客户侧模块的封装形式、引脚排列等具体要求^[4]。本文将介绍符合 100 G BASE-LR4 传输规范的 10 km 单模光纤传输光模块。

2 100 G CFP 光模块的设计

2.1 模块功能框图

100 G CFP 光收发模块主要由速率转换、发射、接收和控制部分组成,其功能框图如图 1 所示^[3]。速率转换部分实现电信号的速率转换、定时与再生功能。发射端采用 4 组 TOSA(光发射组件)完成光电转换,并通过合波器将 4 个不同波长的光信号耦

合进一根光纤中进行传输。接收端采用分波器将接收信号转换为 4 个波长不同的光信号,再通过 4 组 ROSA(光接收组件)完成电光转换。控制部分通过主控单片机完成对激光器驱动和限幅放大器的控制,并接收实时监控上报数据,实现模块的调整及数字诊断功能。

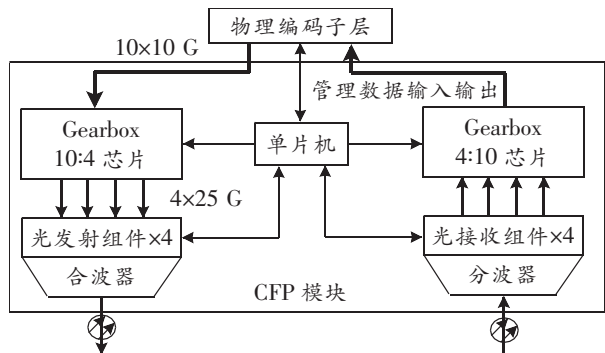


图 1 100 G CFP 光收发模块功能框图

2.2 速率转换部分

100 G CFP 模块与系统背板电层间接口为 CAUI(100 G 附属单元接口),100 G BASE-LR4 标准规定其通道数为 10,每通道的速率为 10.312 5 G,4 组激光器与探测器的传输速率均为 25.781 25 G。所以,需要对电信号的速率与通道数进行处理,来保证数据在 CAUI 与模块收发部分之间的正常传输。在 100 G CFP 模块中,速率转换功能通过两个 Gearbox 芯片实现。Gearbox 芯片能够兼容 CAUI 和 MLD 机制,具有 16 位 SPI(串行外设接口),能监测芯片的输出电压。在发射方向上,Gearbox 10 : 4 芯片对 10 路 10.312 5 G 信号进行整形、定时、再生后转换为 4 路 25.781 25 G 信号,使其能驱动 4 组激光器传输信息。Gearbox 10 : 4 芯片内置时钟 PLL(锁相环)电路,能够倍频从系统背板接收到的参考时钟,输出稳定的 4 路高速差分电信号。而在接收方向上,Gearbox 4 : 10 芯片将 4 路 25.781 25 G 信号转换为 10 路 10.312 5 G 信号,其内置 4 个片上 CDR(时钟和数据恢复)单元,保证了输出信号的稳定性。Gearbox 芯片对供电电压的纹波较为敏感,当电压纹波过大时,芯片将无法正常工作,所以为其提供稳定的供电电压是极其重要的。速率转换部分在高频率下对电信号进行处理,其性能的优异程度直接决定了 CFP 模块的传输质量。

2.3 发射部分

发射部分功能由 TOSA 与合波器组成。TOSA 采用 4 对支持 100 G BASE-LR4 标准的 28 G EML(电吸收调制)器件。该器件集成了外腔调制

DFB(分布式反馈)激光器、背光监测二极管、隔离器、热敏电阻和制冷器,内置 EML 驱动芯片,最高输出功率可达到 4 dBm。单路发射部分控制电路如图 2 所示。模块发射部分的控制功能由 MCU(微控制器)实现,EML 发射器件调制部分的主要控制

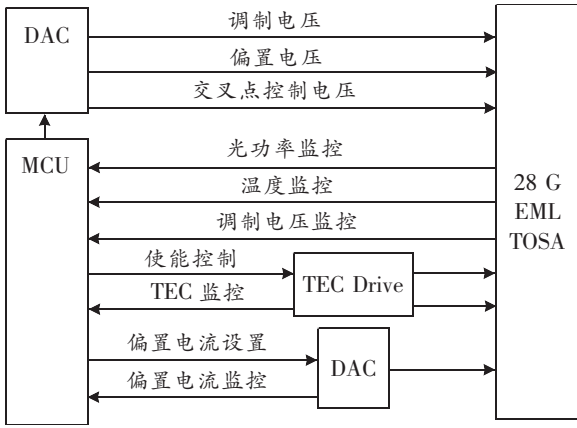


图 2 发射部分功能框图

量是:调制电压、偏置电压及交叉点控制电压,通过 MCU 控制 DAC(数模转换器)来实现对激光器调制参数的控制。MCU 通过器件内部的热敏电阻获取器件的内部温度,经由专用 TEC(热电致冷器)控制芯片来控制器件内部的致冷器,将器件温度稳定在预设值。模块外部环境温度的变化会导致激光器的阈值电流和斜效率发生变化,从而引起发射光功率的变化,MCU 通过器件上集成的背光二极管监测器件的发射光功率,通过查找表来精确设置激光器偏置电流,实现模块发射光功率的稳定。MCU 还将监测发射器件的调制电压、TEC 电流与偏置电流等状态量。

集成 EML 驱动芯片的 TOSA 体积小,集成度高,为 CFP 模块的布板节省了空间。工作时,速率转换单元产生的 4 路 25 G 信号分别加载在 4 个 EML 驱动器上,控制 4 个 25 G 激光器发出中心波长分别为 1 295. 56、1 300. 05、1 304. 58 和 1 309. 14 nm 的光信号,完成光电转换。4 个波长不同的光信号再通过合波器耦合进一根单模光纤进行传输。

2.4 接收部分

接收部分由 ROSA 及分波器组成。ROSA 内置高速 PIN(光电二极管)以及跨阻放大器,支持较宽的工作范围。接收光信号进入分波器后转换为 4 个波长不同的光信号,并通过 4 个高速 PIN 完成电光转换。4 路电信号再经由跨阻放大器芯片完成电流—电压转换,输出到 Gearbox 芯片中集成的限

幅放大器中,经由码速转换后,得到 10 路 10 G 电信号传输至背板电层接口。

2.5 控制部分

100 G CFP 光模块控制部分通过 MDIO(管理数据输入输出)接口来实现光模块与上位机之间的高速通信^[5]。MDIO 接口为双向高速串行接口,总线最大读写速率为 4 MHz。在模块中,通过 FPGA(现场可编程门阵列)芯片实现 CFP 模块与上位机 MDIO 接口间的通信,主控 MCU 再通过 I2C 接口与 FPGA 间建立通信连接,最终实现上位机 MDIO 接口与 CFP 模块主控 MCU 间的连接。

根据 CFP 多源协议,MCU 寄存器被划分为两个部分,0000h 至 7FFFh 为 IEEE 802.3ba 寄存器,主要用于实现该协议中规定的各种功能,如自动协商功能、测试环回模式选择和设置传输速率等。而 8000h 至 FFFFh 为 CFP 模块寄存器,用于存储模块的固定信息,实现激光器的 APC(自动功率控制)、TEC 温度控制、消光比补偿、发射关断及接收部分带宽调整等功能,并接收各种实时上报参数。

3 测试结果及分析

100 G CFP 光模块的主要测试指标包括发射眼图和接收灵敏度,CFP 模块在发射和接收方向上分别有 4 路不同波长的通道,在测试中,选用 IEEE Std 802.3ba 100 G BASE-LR4 中规定的 1 304.58 nm 通道(通道 2)进行发射和接收的相关测试,其他非被测通道处于正常工作状态。

图 3~图 5 分别给出了在 27.95 G 速率下,75、25 和 -5 ℃ 时模块通道 2 的输出光眼图。表 1 为光眼图的各项参数。可以看出,在全温度范围内,输出光眼图内指标波动较小。

表 1 光眼图参数

参数	值		
	75 ℃	25 ℃	-5 ℃
平均光功率/dBm	1.49	1.47	1.46
消光比/dB	8.36	8.09	7.98
交叉点(%)	50.00	49.70	49.30

在 25.8 G、PRBS²³¹-1 码、误码率=10⁻¹²的条件下,对光模块通道 2 进行接收灵敏度测试,在温度分别为 75、25 和 -5 ℃ 时,接收灵敏度分别为 -8.5、-9.5 和 -8.7 dBm。通过以上测试可知,该模块通道 2 的发射光眼图各项指标以及接收灵敏度符合 IEEE 802.3ba Std 100 G BASE-LR4 标准,可以应用于 100 G 以太网中。

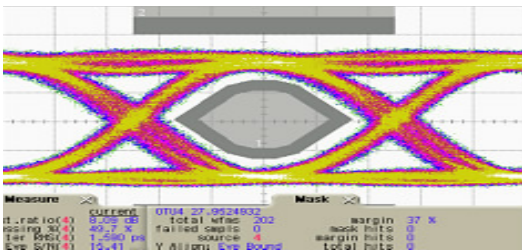


图 3 75 ℃ 时的光眼图

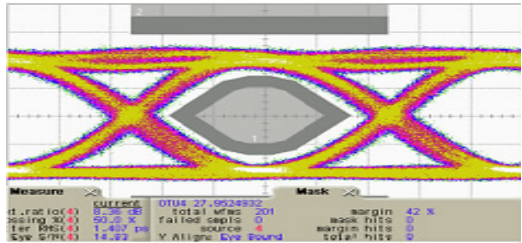


图 4 25 ℃ 时的光眼图

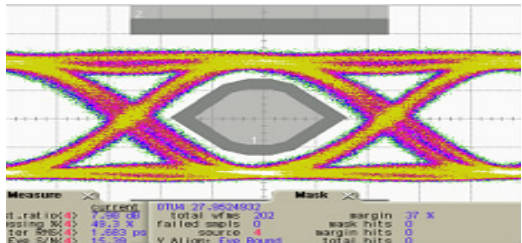


图 5 -5 ℃ 时的光眼图

4 结束语

本文给出了一种 100 G CFP 光收发模块的设计方案,并对模块的收发性能进行了相应测试。测试结果表明其符合 CFP 多源协议以及 IEEE 802.3ba Std 100 G BASE-ER4 相关标准,可以通过单模光纤实现 10 km 100 G 的数据传输。相信随着光器件成本的降低,100 G CFP 光模块将迅速实现商用化。

参考文献:

[1] Zhang Yuanwang, 100 G Ethernet Technology and Applications [J]. ZTE Communications, 2009, (4): 54-57.
[2] IEEE Std 802.3ba-2010, 40 Gb/s and 100 Gb/s Ethernet [S].
[3] Jon Anderson, Matthew Traverso. Optical Transceivers for 100 Gigabit Ethernet and its Transport [J]. IEEE Communications Magazine, 2010, (3): 35-40.
[4] Matt Traverso. CFP MSA Hardware Specification Revision 1.4 [EB/OL]. <http://cfp-msa.org/Documents/CFP-MSA-HW-Spec-rev1-40.pdf>, 2010-06-07.
[5] Matt Traverso. CFP MSA Management Interface Specification Revision 1.4 [EB/OL]. http://cfp-msa.org/Documents/CFP%20MSA%20Management%20Interface%20Specification%20Draft%201_4_R5.pdf, 2010-06-22.