

100/200 Gb/s 数字相干光模块的光信噪比测试

张锡芳, 郑优斌

(科锐安通讯技术(上海)有限公司, 上海 201203)

摘要: 线路侧光模块 CFP2-DCO 在 4G/5G 网络建设中具有重要而广泛的应用, 而光信噪比(OSNR)指标是评估其性能的重要参数。光纤通信系统中的偏振模色散(PMD)及色度色散(CD)的干扰, 对 OSNR 性能有重要的影响, PMD 及 CD 的干扰对系统 OSNR 造成的劣化即为 PMD、CD 的 OSNR 代价。探讨了 OSNR 的不同测试方法, 并针对通信设备制造商在实验室对 OSNR 进行测试的需求, 搭建了一种 OSNR 及 PMD、CD 干扰代价的自动化测试平台。利用该平台对 CFP2-DCO 的 OSNR 及 PMD、CD 的 OSNR 代价进行了测试, 并进一步测试得到叠加 PMD、CD 干扰后的 OSNR 代价及 PMD、CD 与 OSNR 的关系曲线。测试结果表明: PMD、CD 的干扰越大, 通信系统对 OSNR 的要求越高, 因此应尽量降低系统的 PMD、CD 干扰, 从而可以优化系统性能, 提高通信质量。

关键词: 数字相干光模块; 密集波分复用; 可重构光分插复用器; 光信噪比; 光传送网; 偏振模式色散; 色度色散

中图分类号: TN91 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2020)02-0024-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.02.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



OSNR measurement of 100/200 Gb/s digital coherent optic module

ZHANG Xifang, ZHENG Youbin

(Coriant Communication Technologies (Shanghai) Limited, Shanghai 201203, China)

Abstract: The line side module CFP2-DCO has important and extensive application in 4G/5G network construct. Optical signal-to-noise ratio (OSNR) is an important parameter to evaluate the performance of the CFP2-DCO. The interference of polarization mode dispersion (PMD) and chromatic dispersion (CD) had important influence on the OSNR performance, the degradation of the OSNR induced by the PMD and CD is the OSNR penalty of PMD and CD. Different kinds of OSNR measurement methods are discussed. An automatic measurement platform on OSNR and PMD/CD penalty of the CFP2-DCO is introduced for the lab test requirement of communication equipment manufacturer. The OSNR and the PMD/CD penalty of the CFP2-DCO is tested using this platform. The PMD/CD penalty on the OSNR and the PMD/CD versus OSNR relation curve is further measured. The test results show that the OSNR requirement of the telecommunication system will be increased with the PMD/CD interference increasing. So, the PMD/CD interference should be decreased to optimize the system performance.

Key words: digital coherent optic module; dense wavelength division multiplexing; reconfigurable optical add drop multiplexer; optical signal-to-noise ratio; optical transmission network; polarization mode dispersion; chromatic dispersion

0 引言

近年来, 随着物联网技术的发展以及 5G 标准的发布, 人们对高带宽的需求越来越强烈, 而在 2019 年 6 月 6 日, 工信部向中国电信、中国移动、中国联通和

中国广电发放了 5G 商用牌照。5G 网络的铺建, 急需 100 Gb/s 以及 200 Gb/s 端口的使用, 40G 市场逐渐向 100G/200G 迁移。已经成功商业化的模拟相干光模块 CFP2-ACO 可以实现 100/200 Gb/s 的线路侧传输, 但线卡上要集成 DSP 芯片实现模拟到数字的信号处理以实现长距离线路侧传输。CFP2-DCO 光模块内部集成了 DSP 芯片, 从而使板卡密度得以提高, 板卡空间进一步优化。

光信噪比(OSNR)的定义是在光有效带宽为 0.1 nm 内光信号功率和噪声功率的比值, 用于定量检测光信号沿光纤传播途中, 被光噪声干扰的程度。常

收稿日期: 2019-08-08。

作者简介: 张锡芳(1981-), 女, 硕士, 工程师。2007 年毕业于哈尔滨工程大学光学工程专业。先后就职于海信光电、中兴通讯, 从事光通信产品的研发工作。现就职于科锐安通讯技术(上海)有限公司, 从事 OTN 光传输产品的研发工作。



用的 OSNR 测试方法有符合 IEC-61280-2-9 标准的带外插值法^[1]、关断积分法^[2]及运用偏振技术测量带内 OSNR 的偏振归零法。对于实际已经铺设完成的光通信线路的 OSNR 测试,40G 及以上的密集波分复用(DWDM)或可重构光分插复用器(ROADM)系统,因为新的调制方式如正交相移键控(QPSK)、正交振幅调制(如 8QAM、16QAM)等的信号光谱展宽会使相邻波长的频谱重叠甚至重合^[3],因此不能采用传统的带外插值法。而关断积分法需要关断待测波长的信号光,会使测得的经掺铒光纤放大器(EDFA)放大的噪声发生变化,从而使测试结果不准确,并且该方法操作复杂。基于偏振技术的带内 OSNR 测试法的偏振归零法^[4],通过调整偏振控制器可分别测得携带噪声的信号功率和噪声功率的数值,并且后面使用可调光滤波器可以完成信道的选择。然而,该技术的性能会受到偏振模色散(PMD)的去偏振效应和非线性双折射的影响。

以上 OSNR 的几种测试方法中,关断积分法是针对通信系统已经铺设完成的基础上对线路的实际 OSNR 值进行测试的方法。带内噪声测试的偏振归零法依赖于链路 PMD 值的大小,EXFO 公司提出的差分光谱响应法和 JDSU 公司提出的光偏振分束法^[5]虽然克服了归零法的缺点,但设备昂贵。对于设备制造商而言,需要在实验室对设备性能进行评估。光谱分析仪(OSA)设备可以提供一个 OSNR 测试值,但在采样间隔明显超出 OSA 滤波器的带宽时,每个采样点对应的有效滤波器接近矩形,据此计算出的 OSNR 值明显分辨率不够,因此不够准确。

本文将 CFP2-DCO 应用于现有的 DWDM 系统,通过叠加偏振模色散/色度色散(PMD/CD)干扰参数进行实验测试,对 OSA 采用最高分辨率扫描获得的光谱进行自动化计算来测得 OSNR,可以得到 OSNR 的准确数值。

1 测试方案

1.1 测试方法

本文的 OSNR 测试方法是采用自动化算法对 OSA 的光谱进行积分来计算得到待测波段内的信号光功率和噪声功率值。该方法中,因为每次对待测的 CFP2-DCO 模块调谐到固定的 DWDM 波长,所以不存在相邻波长的重叠问题,噪声功率通过带外插值法获得;而信号光功率通过对带内光谱进行积分获得。

另一方面,在使用光放大器(如 EDFA,OSA)来补偿光纤衰减的光纤通信系统中,传输容量很大程度上

受限于 CD。CD 是由于光纤所传送信号的不同频率成分或不同模式成分的群速度不同,而引起传输信号畸变的一种物理现象。所谓群速度就是光能在光纤中的传输速度。所谓信号畸变,一般指脉冲展宽。色散容限与比特率的平方成反比,为了减小色散的不利影响,可以使用色散补偿光纤(DCF)、光域补偿和电域补偿的方法。进一步制约传输容量的是 PMD,PMD 是由于光纤制造工艺造成纤芯界面一定程度的椭圆度,或者是由于材料的热胀系数的不均匀性造成光纤截面上各向异性的应力而导致光纤折射率的各向异性,这两者均能造成 2 个偏振模传播常数的差异,从而产生群时延的不同,形成了偏振模色散^[6]。表示一阶 PMD 参数的差分群时延(DGD)和比特率成反比,因为 PMD 是一种随机现象,所以对其补偿具有较大难度^[7]。本文测试的 CFP2-DCO 光模块内部具有 PMD 和 CD 补偿功能。因 PMD 及 CD 的干扰对系统 OSNR 造成的劣化即为 PMD、CD 的 OSNR 代价。本文在 OSNR 测试的基础上,通过实验测试系统模拟叠加 PMD 及 CD 干扰,进一步对 PMD 和 CD 的 OSNR 代价进行了测试。

CFP2-DCO 的 OSNR 测试方法如下:按照图 1 所示搭建测试系统,待测单板(UUT)的待测光口发送端经过光链路连接到 UUT 待测光口的接收端,接收机经 FEC 处理后达到误码率(BER)最大极限值(如 1×10^{-2} 量级,根据系统需求而定)时,接收端所测得的 OSNR 值即为 CFP2-DCO 的待测 OSNR 值。通过 PMD 模拟器和 CD 模拟器叠加干扰,从而进一步测得符合实际系统的 PMD 及 CD 的 OSNR 代价。

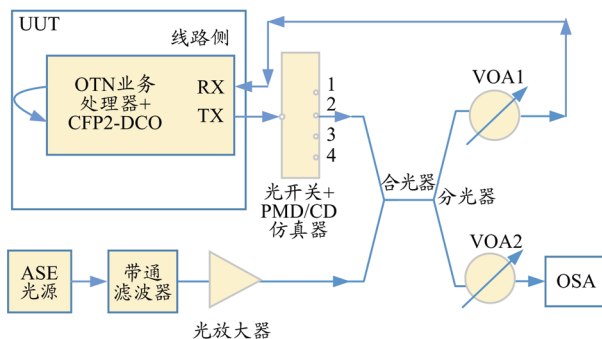


图 1 CFP2-DCO OSNR 自动化测量框图

1.2 测试框图

图 1 中,装配有 CFP2-DCO 的 UUT 被安装到系统中,通过系统主控板的 RS232 串口及 IP 端口进行业务类型配置,配置 CFP2-DCO 为 QPSK 调制模式。

放大自发辐射(ASE)宽谱光源为系统提供噪声注入,经过带通滤波器对波段进行选择,经过光放大器

对噪声进行放大。CFP2-DCO 发射信号光从发射端口(TX)经过光开关,通过在常规通路(无 PMD/CD 模拟干扰)、PMD 模拟干扰和 CD 模拟干扰通路间的切换来模拟不同状态下的传输性能,输出的信号经过合光器与 ASE 发出的噪声信号光进行耦合并送入分光器,分光器输出的一路光经可调光衰减器(VOA2)调节到合适的光功率送到 OSA,另一路经 VOA1 进入板卡接收端口(RX),CFP2-DCO 的发射光功率可以通过光模块的 MDIO 接口进行配置实现大小调节,从而完成不同干扰下的 OSNR 测量。

1.3 测试步骤

CFP2-DCO 插入 UUT,UUT 及 CFP2-DCO 正常启动。UUT 板卡工作原理如下:发送方向,光传送网(OTN)业务处理器把接收端回环的数据发送到 CFP2-DCO 的 TX 端口;接收方向,从 CFP2-DCO 的 RX 端口接收到的业务流数据经过 OTN 业务处理器,配置回环模式。UUT 单板控制器通过 MDIO 端口对 CFP2-DCO 参数进行配置,并通过寄存器对 BER 指标进行读取和检测。具体测试步骤如下:

①设发光功率为一个初始值,如 1 dBm;将 CFP2-DCO 配置为待测调制模式;

②将光开关切换至无 PMD 及 CD 模拟干扰的常规通路;

③调节链路上的 VOA1 使 CFP2-DCO 的接收光功率在接收范围内;

④使能 ASE 噪声源输出,调节带通滤波器工作在待测波段内,经过光放大器后使噪声源叠加在信号上;

⑤经过分光器后一路光经 VOA2 调节到合适的光功率送到 OSA;

⑥自动化程序通过调用指令读取 UUT 板卡线路侧接收端的 BER、前向纠错(FEC)纠错数值和 FEC 未纠错数值。通过自动调节 VOA1 及调节 CFP2-DCO 的发射光功率,对输入到 CFP2-DCO 中的入射信号光功率进行步进调节,最终使 CFP2-DCO 内的未纠错数值达到 DSP 的阈值,大约在 1×10^{-2} 数量级,并测试此时的 OSNR 值。因为光通道间隔为 50 GHz,所以通常采用 62.5 GHz 的分析带宽(RBW)值以保证可以扫描得到所有的信号光功率,通过对 OSA 提供的光谱进行自动化程序积分得到待测波段内的信号光功率和噪声功率值,再采用式(1)计算得到 OSNR 值:

$$\text{OSNR} = 10 \lg \frac{S_i}{N_i} \quad (1)$$

其中, S_i 为待测波段内的信号功率值, N_i 为待测波段内的噪声功率值。通过以上操作可以测得在没有叠加 PMD 及 CD 参数干扰的情况下的 OSNR 值。然后,通过控制光开关分别切换至 PMD 模拟器和 CD 模拟器通道端口,可以分别测得 CFP2-DCO 在叠加了 PMD 及 CD 干扰后的光纤通信系统中的 OSNR 代价,从而得到符合实际光纤通信系统的 OSNR 值。

2 光纤系统的 PMD 及 CD 对 OSNR 代价的测试结果及分析

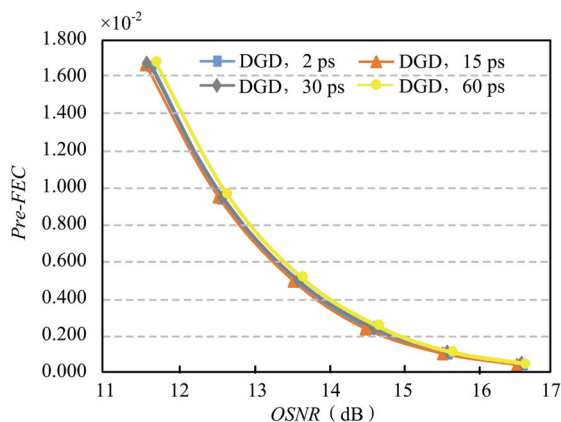
实际光纤通信系统中,在传输速率超过 10 Gb/s 时,PMD 和 CD 成为制约传输性能,影响系统 OSNR 性能的重要因素。为了评估 CFP2-DCO 的 PMD 及 CD 的 OSNR 代价,本文测试了 QPSK 调制模式下,在系统要求的 PMD 及 CD 干扰叠加的基础上,OSNR 的代价值。

测试结果如下:在 $\text{BER} = 1.72 \times 10^{-2}$ 时,常规通路下的 OSNR 测试值为 11.6 dB,叠加了 30 ps PMD 模拟干扰的 OSNR 劣化代价为 0.08 dB;叠加了 45 ns/nm CD 模拟干扰的 OSNR 劣化代价为 0.32 dB。通过对比 CFP2-DCO 的数据手册,所测得的 PMD 及 CD 的 OSNR 代价满足小于 0.5 dB 的要求,因此该 CFP2-DCO 满足系统应用要求。

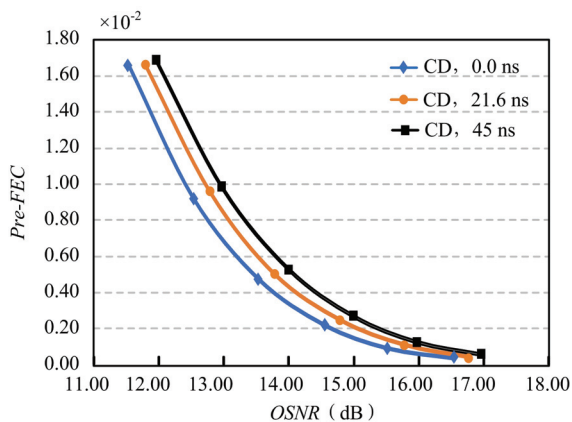
为了进一步研究 PMD 及 CD 的干扰对 OSNR 的影响,本文测试了 QPSK 调制模式下的一阶 PMD(即 DGD)及 CD 干扰下的 OSNR 关系曲线,测试的结果如图 2 所示。

分别叠加不同数值的一阶 PMD 和 CD,然后自动生成在一定 BER 下的 OSNR 关系曲线。图 2(a)和 2(b)中横坐标为 OSNR 的数值,纵坐标 pre-FEC 表示纠错前误码的数值,对应 OSNR 值的优劣程度。图 2(a)中的标识表示分别叠加 2 ps、15 ps、30 ps 和 60 ps 的一阶 PMD(即 DGD)后的 OSNR 离散值及归一化曲线。图 2(b)中的标识表示分别叠加 0 ns、21.6 ns 和 45 ns 的 CD 后的 OSNR 离散值归一化曲线。从图 2 可以看出,相对于 CD 对 OSNR 的影响来说,一阶 PMD 对 OSNR 的影响相对较小。

从图 2 的关系曲线可以得知,在同样的 BER 要求下,系统中的 PMD 及 CD 的干扰越大,系统对 OSNR 的要求越高,OSNR 的代价越大。因此,尽可能地降低系统的 PMD 及 CD 干扰,对于优化系统的 OSNR 性能指标,提高通信传输质量有很重要的意义。



(a) QPSK 的一阶 PMD 与 OSNR 关系曲线



(b) QPSK 的 CD 与 OSNR 关系曲线

图 2 一阶 PMD(即 DGD)及 CD 干扰下的 OSNR 关系曲线

3 结束语

本文主要介绍了近年刚商用化的 100G/200G 线路侧数字相干光模块 CFP2-DCO 的 OSNR 性能指标自动化测试方案及测试方法;结合实际光纤通信系统,搭建了可以模拟 PMD 及 CD 干扰的自动化测试系统,并测试了不同调制模式下的 OSNR 值,以及 PMD 和 CD 叠加干扰的 OSNR 代价。本文的测试方法和结果对实际通信系统中 CFP2-DCO 的应用测试及其它类型的光模块测试有重要的参考意义。

参考文献:

- [1] 邵军. 光信噪比 OSNR 测试技术应用探究[J]. 数字技术与应用, 2017(8):59-60.
- [2] 王卫昀. 高速率 DWDM 系统 OSNR 测试 [J]. 电信工程技术与标准化, 2011(5):59-63.
- [3] 杨立新. 超高速率 DWDM 系统 OSNR 测试方法探讨[J]. 广东通信技术, 2015(11):58-62.
- [4] 冯雪, 刘鹏, 高敏. 频带内 OSNR 检测法的研究[J]. 电子科学, 2009(15):11-15.
- [5] 董红军, 张引发, 景琦. 偏振分光法光信噪比检测技术研究[J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2007(3):4-8.
- [6] 李强. 浅谈波分系统的光纤色散及补偿 [J]. 中国新通信, 2016(5):120-120.
- [7] BOFFI Pierpaolo, FERRARIO Maddalena, MARAZZI Lucia. Measurement of PMD tolerance in 40 Gb/s polarization-multiplexed RZ-DQPSK[J]. Optics Express, 2008, 16(17): 13398-13404.

首届《光通信技术》优秀论文评选结果公示公告

经专家评审,共评出 2019 年《光通信技术》优秀论文 10 篇,现予以公布表彰。评选结果如下:

首届《光通信技术》优秀论文名单

序号	第一作者	作者单位	论文题目	发表刊期
1	鲍克勤	上海电力学院	基于 VMD 算法的光栅莫尔条纹去噪方法	2019-1 期
2	付浩	长春理工大学	基于 ARMA-LSTM 的光功率预测方法	2019-1 期
3	夏中金	安徽理工大学	可见光通信 LED 高速驱动电路研究与设计	2019-2 期
4	成湘	西安邮电大学	基于改进粒子群优化算法的可见光室内定位技术	2019-4 期
5	魏昊文	南京邮电大学	高灵敏度布喇格光纤光栅温度传感器	2019-5 期
6	彭怀敏	桂林聚联科技有限公司	基于小波变换的 OTDR 降噪算法研究	2019-7 期
7	徐学武	桂林电子科技大学	一种新型的基片式高灵敏度 FBG 温度传感器	2019-7 期
8	肖磊	上海大学	基于氧化锆陶瓷的光纤 F-P 腔压力传感器研究	2019-8 期
9	赵星	中国信息通信研究院	面向 5G 的 SDOTN 南北向接口标准化进展及趋势分析	2019-9 期
10	蒋雯丽	西安邮电大学	基于贝叶斯网络的 SDON 控制器自学习负载均衡算法	2019-12 期

《光通信技术》编辑部