

文章编号:1674-2869(2011)07-0098-06

# DRZ 和 CSRZ 的 40 G DWDM 系统的性能测试

冯先成<sup>1</sup>,李 寒<sup>1</sup>,罗 帆<sup>1</sup>,韵 湘<sup>2</sup>

(1. 武汉工程大学 电气信息学院,湖北 武汉 430074;  
2. 烽火通信科技股份有限公司,湖北 武汉 430074)

**摘 要:**介绍光波分复用  $N\times 40$  Gbps 系统的发展现状;其次,阐述光波分复用  $N\times 40$  Gbps 系统的关键技术及调制码型技术(ODB、CSRZ、DRZ、DPSK、DQPSK),提出了 40 Gbps WDM 系统光接口参数的要求;然后,采用加入合适的可调式光衰减器(VOA)方法,进行眼图等性能测试;最后,通过 40 G 系统仿真结果及具体试验,40 G WDM 系统可以满足商业应用需求。  
**关键词:**DWDM;40 G 调制码型;OTU 性能测试;DRZ;CSRZ  
**中图分类号:**TN929.11      **文献标识码:**A      **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2011.07.026

## 1 光波分复用 $N\times 40$ Gbps 系统发展现状

Broadband、IPTV、Triple Play、P2P 等对传输速率和通信容量需求的不断增加极大地刺激了 40 Gbps 传输速率、Tbps 系统传输容量的密集波分复用(DWDM)光纤传输技术的发展. 近几年的 OFC 和 ECOC 会议报道了 40 Gbps WDM 系统的实验室或者现场传输实验,众多器件商不断推出支持 40 Gbps 速率的各种模块,为配合 40 G 接口的应用,一些领先的设备商也宣布可以提供 40 G 接口的大容量 WDM 传输系统,40 Gbps 传输相关技术已经成熟,但缺乏与之对应的标准. 据 Heavy Reading 调查数据显示,60%的运营商将会选择 40 G 光网技术,到 2010 年,40 G 的市场规模将达到 20 亿美元.

## 2 光波分复用 $N\times 40$ Gbps 系统的关键技术

实现  $N\times 40$  Gbps 系统需要考虑下面的关键技术:在 40 Gbps 系统中,需要进一步增加光信号发射功率以满足系统光信噪比(OSNR)的要求. 所以当传输信道数目较多并且传输距离较远时,光纤非线性效应将导致普通 NRZ 码光信号严重失真. 而目前结合多种调制方式的新型调制码型,如 ODB(光双二进制码)、CSRZ(载波抑制归零码)、

DRZ(差分归零码)、DPSK(差分相移键控)、DQPSK(差分四相相移键控)等正以其优异的性能成为 40 G WDM 系统的主要码型<sup>[4]</sup>.

同时 40 Gbps 高速 DWDM 光纤传输系统中调制格式的选择又与整个系统的总体设计有关,其中包括光纤种类、传输系统间距、距离、信道数目和信道间隔等多方面的考虑. 在传输物理效应方面,不仅仅要考虑色散和带间非线性效应,而且还要考虑 PMD 和带内非线性效应的影响.

更高的滤波代价要求:在目前的 10 G WDM 系统上实现 40 Gbps 的平滑升级,需要考虑目前常规的 50 GHz 或 100 GHz WDM 系统中的滤波器,对于非常规的 NRZ 码有 4 倍光谱展宽 40 Gbps 信号,而引起的系统滤波代价.

更高的色散容限和非线性代价的要求:40 Gbps 信号,相对于 10 G 信号将只有它的 1/16 的色散容限.

更高的 OSNR 要求:4 倍速率的提高将导致 6 dB OSNR 容限要求的提高,OSNR 成为 40 Gbps 系统的重要限制因素.

总之,40 Gbps 系统需要融合一个现有最新的码型调制技术、强色散管理技术、高 OSNR 容忍度、高灵敏度检测接收和编码纠错技术的复杂综合系统.

40 Gbps 调制码型技术比较:表 1 是目前业界商用及研究较多的调制码型性能对比<sup>[2]</sup>.

表 1 40 Gbps 调制码型性能对比

Table 1 Performance comparison of 40 Gb/s modulation

性能参数	NRZ	ODB	CSRZ	DRZ	DPSK	RZ - DPSK	RZ - DQPSK
OSNR 灵敏度	+	+	++	++	+++	++++	+++
色散容限	++	++++	++	++	++	++	+++
PMD 容限	++	++	++	++	++	+++	++++
非线性容限	+	+	++	+++	+++	++++	++
50 GHz 间隔	N	Y	N	N	N	N	Y
技术复杂度	+	+	+	+	++	++	+++

OSNR 预算

光纤通信系统中,接收机输入端的光信噪比 OSNR 和信号畸变是决定系统误码特性的最重要的因素. 以下由对光信噪比 OSNR 的要求出发,进一步讨论系统设计的某些重要原则<sup>[5]</sup>.

接收端信道的光信噪比 OSNR 定义为

$$R = P_{\text{sig}} / P_{\text{ASE}}$$

其中,  $P_{\text{sig}} = P_{\text{out}} - 10\log M$  是某信道的平均光功率,  $P_{\text{out}}$  是 EDFA 的总(信号)输出功率,  $M$  是信道数;而  $P_{\text{ASE}} = F(G - 1) h\nu B_0 (N + 1)$  是 EDFA 内部被放大的自发辐射(ASE),通过  $N$  个光纤段即  $(N + 1)$  级级联 EDFA 后,在光滤波器带宽  $B_0$  内的噪声功率. 通常定义  $B_0 = 12.6 \text{ GHz}$  (相当于  $0.1 \text{ nm}$ ),以分贝表示时,  $10\log(h\nu B_0) = -58 \text{ dBm}$ ,  $F$  和  $G$  分别是 EDFA 的噪声系数和放大倍数. 假定每个 EDFA 的增益都相等,且正好抵消光纤段的损耗. 且近似有

$$R = P_{\text{out}} - 10\log M + 58 - [NF + G + 10\log(N + 1)] \tag{1}$$

可见,由于  $P_{\text{ASE}}$  随光纤段的长度指数增长,而随放大器的级数线性增长,当系统总长度一定时,低增益、多级数比高增益、少级数方案有高得多的 OSNR.

实际情况下,  $N$  个光纤段的损耗并不相同,但由于 EDFA 大多工作在(深)饱和状态,每级 EDFA 增益仍可认为恰好补偿前一个光纤段的线路损耗( $L_i = G_{i+1}$ ). 在工程设计中,考虑到各光放大器均大体工作在饱和状态,总输出功率一定,工作点处的增益会自动调整至前一光纤段的损耗,而与额定增益值有所差异. 因此系统 OSNR 为

$$R = P_{\text{out}} - 10\log M + 58 - NF - 10\log\left[G(1) + \sum_{i=1}^{N-1} L(i)\right] \tag{2}$$

这样,根据线路损耗情况,即可估算出 DWDM

系统的光信噪比演化过程,对网络规划具有重要的工程指导意义.

以等损耗光纤段为例,可求得 EDFA 应达到的总输出功率为

$$P_{\text{out}} = G + F + R + 10\log[M(N + 1)] + \Delta P - 58 \tag{3}$$

其中  $\Delta P$  为各种因素(如 EDFA 及光路中各元件增益/损耗的波长特性、光纤中的非线性效应等)引起的信道功率差. 由此也可求出 EDFA 总输出功率一定时信道数  $M$  和光纤段数  $N$  的综合考量应满足式(4)

$$M(N + 1) \leq 10^{0.1(58 + P_{\text{out}} - G - F - R - \Delta P)} \tag{4}$$

例如,信道数据率 40 Gbps (OSNR 取下限 20 dB),EDFA 总输出功率为 23 dBm,  $F = 8 \text{ dB}$ ,  $\Delta P = 3 \text{ dB}$ ,  $G = 22 \text{ dB}$  ( $0.275 \text{ dB/km} \times 80 \text{ km}$ ) 时的计算结果:  $M(N + 1) = 631$ ,  $M = 40$ , 则  $N = 14$ .

3 N×40 Gbps WDM 系统光接口参数的要求

3.1 参考点定义

$N \times 40 \text{ Gbps}$  WDM 系统的参考配置如图 1 所示<sup>[1]</sup>. 图 1 中 OTU 为光波长转换器实现 3R 功能即再放大、再整形和再定时;OMU 为光复用器单元,实现多个波长的复用功能;OA 为光放大单元,实现信号的光域放大(包含色散补偿功能);ODU 为光解复用器单元,实现多个波长的解复用功能,  $T_x/R_x$  为客户侧光接口<sup>[4]</sup>.

图 1 定义了 6 个系统外参考点和 2 个系统内参考点,即 S、MPI-SM、RM、SM、MPI-RM、R 和  $S_n$ 、 $R_n$ . 其中 S、R 是 MS-ULH WDM 系统与客户端的接口参考点;MPI-S<sub>M</sub>、R<sub>M</sub>、S<sub>M</sub>、MPI-RM 是 M<sub>S</sub>-ULH WDM 系统主光通道的参考点;S<sub>n</sub>、R<sub>n</sub> 是 MS-ULH WDM 系统内 OTU 分别与 OMU 和 ODU 之间的参考点. 这些参考点具体含义如下:

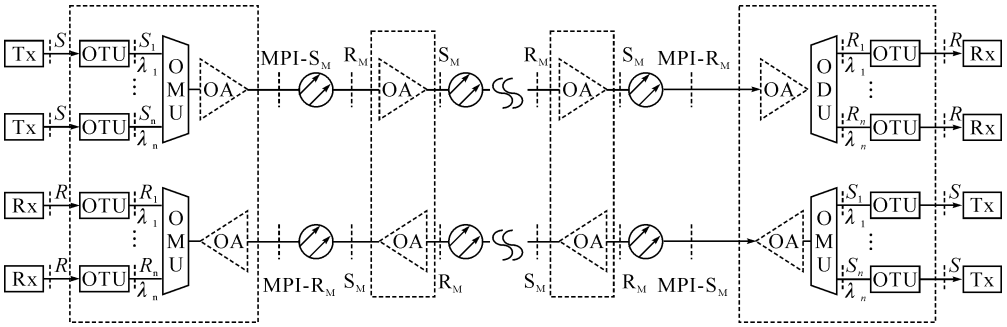


图 1 40 Gbps WDM 系统参考配置

Fig. 1 The reference configuration of 40 G WDM system

S 为客户信号发射机输出接口之后光纤连接处的参考点；

S<sub>n</sub> 这 OTU 连接到 OMU 的输出接口之后光纤连接处的参考点；

MPI-S<sub>M</sub> 为 OMU 后面 OA(光功率放大器)光输出接口之后光纤连接处的参考点；

R<sub>M</sub> 为 OA(光线路放大器)输入接口之前光纤连接处的参考点；

S<sub>M</sub> 为 OA(光线路放大器)输出接口之后光纤连接处的参考点；

MPI-R<sub>M</sub> 为 ODU 前面 OA(光前置放大器)输入接口之前光纤连接处的参考点；

R<sub>n</sub> 为 ODU 后面连接 OTU 的输入接口之前光纤连接处的参考点；

R 为客户信号接收机输入接口之前光纤连接处的参考点。

3.2 主光通道接口参数要求

主光通道接口参数要求如表 2 所示。

表 2 N×40 Gbps WDM 系统主光通道参数

Table 2 Main optical channel parameter of N × 40 G WDM system

参数名称	单位	参数值		
基本参数				
应用代码	——	M80. 40 G50 - 8 A - 652(C)O(A)	M40. 40 G100 - 10 A - 652(C)C(A)	M40. 40 G100 - 12 A - 652(C)D(A)
跨段损耗	$n \times W$ dB	8×22	10×22	12×22
通路数	个	80/96	40/48	40/48
调制格式		ODB	CSRZ	DRZ
比特速率	Gb • s <sup>-1</sup>	39. 813~43. 018		
MPI-S <sub>M</sub> /S <sub>M</sub> 点参数				
每通路输出功率(平均功率)	dBm	+1	+4	+4
最大	dBm	+3	+7	+7
最小	dBm	-3	+1	+1
MPI-S <sub>M</sub> 点最大通路功率差	dB	6	6	6
最大总发送功率	dBm	+23/23. 8	+23/23. 8	+23/23. 8
光通道(MPI-S <sub>M</sub> -MPI-S <sub>M</sub> )参数				
最大残余色散(1 dB OSNR 代价)	ps • nm <sup>-1</sup>	0~400	300~700	0~400
最大差分群时延	ps	5. 5	10	12
最大反射系数	dB	-27	-27	-27
最小回损	dB	24	24	24
MPI-R <sub>M</sub> /R <sub>M</sub> 点参数				
每通路输入功率(平均功率)	dBm	-22	-19	-19
最大	dBm	-18	-15	-15
最小	dBm	-26	-23	-23
MPI-R <sub>M</sub> 点最大通路功率差	dB	8	8	8
MPI-R <sub>M</sub> 点每通路最小光信噪比	dB	20	20	19
最大总接收功率	dBm	+1	+1	+1

4 光波分复用  $N\times 40$  Gbps 系统试验

4.1 试验研究配置

40 Gbps OTU 性能测试配置如图 2 所示. 其中:虚线代表的 VOA 是在进行眼图性能测试时加入合适的 VOA,使其满足通信信号分析仪的输入光功率要求范围<sup>[9]</sup>.

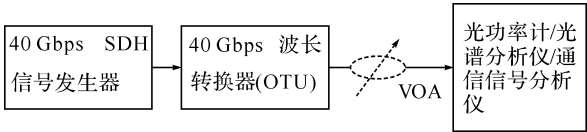


图 2 40 Gbps OTU 性能测试配置图  
Fig. 2 Configuration diagram of 40 Gb/s OTU performance test

40 G OTU BER 和 OSNR 性能测试配置图如图 3 所示,40 G OTU 采用 FONST W1600 40 Gbit/s OTN 智能波分复用系统.

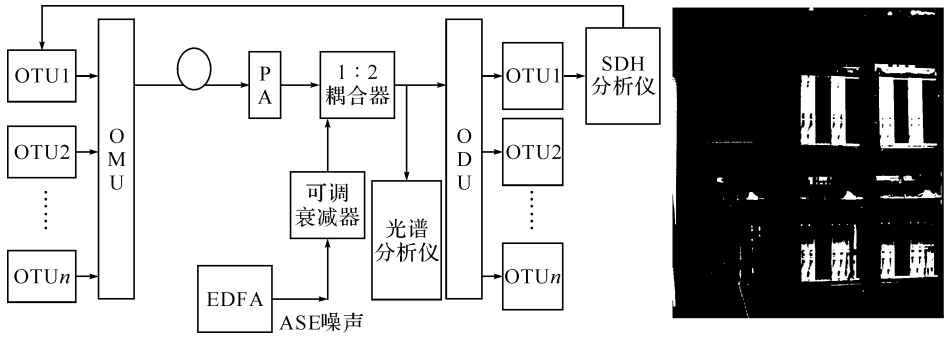


图 3 40 Gbps OTU 背靠背 BER 和 OSNR 性能测试配置

Fig. 3 configuration of 40 Gb/s OTU back - to - back BER and OSNR performance test

4.2 DRZ 码实现的波长转换器和系统试验

4.2.1 DRZ 码型 40 Gbps 波长转换器频谱与眼图

DRZ 码型 40 Gbps 波长转换器典型光谱特性如图 4 所示,DRZ 模块的典型-3dB 谱宽为 0.6 nm.

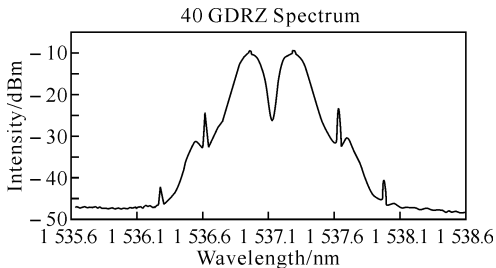


图 4 DRZ 码型 40 Gbps OTU 典型光谱

Fig. 4 the typical spectrum of 40 G OTU of DRZ code

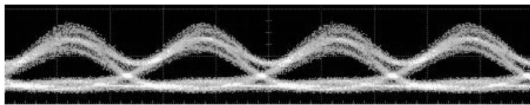


图 5 DRZ 码型 40 Gbps OTU 典型眼图

Fig. 5 The typical eye diagram of 40 Gb/s OTU of DRZ code

从测试结果显示,DRZ 码的 40 Gbps 波长转换器可以沿用目前的 WDM 系统的频率,但它的光谱谱宽比普通 NRZ 的谱宽要宽,同时它的占空比普通 NRZ 低.

4.2.2 DRZ 码型 40 Gbps 波长转换器背靠背情况下 OSNR 与 BER 的性能 从测试结果图 6 显示,DRZ 码 40 Gbps 的波长转换器在 E-03 误码率下可容忍的最低 OSNR 在 14 dB 左右.

4.2.3 DRZ 码型 40 Gbps 波长转换器系统传输性能

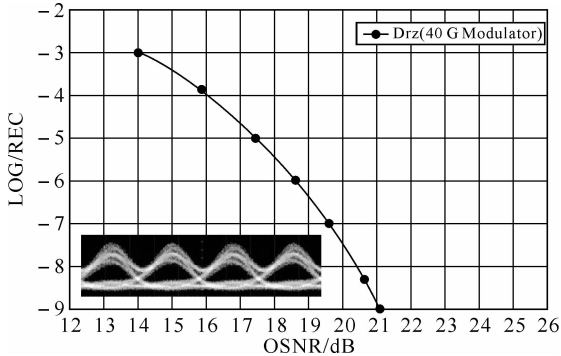


图 6 40 G DRZ 系统背靠背 BER 和 OSNR 的测试图

Fig. 6 Testing of back - to - back, BER and OSNR of 40 G DRZ system

a. DRZ 码型 40 Gbps 波长转换器系统传输 OSNR 性能.

图 7 中 1 600 km 长纤传输系统进行了色散预补偿,单通道的发送光功率为 4 dBm/ch. 由图 7 可见传输 1 600 km 长纤后的最低 OSNR 为 18.6 dB 左右.

b. DRZ 码型 40 Gbps 波长转换器系统传输色散容限.

图 8 是 DRZ 码型 40 G 系统传输 1 600 km 以后的色散窗口,可以看出,色散窗口大约 40 ps/nm,色散窗口很小,需要配置 TDC 以增大色散窗口.

4.3 CSRZ 码实现的波长转换器和系统试验

4.3.1 CSRZ 码型 40 Gbps 波长转换器频谱与眼图

CSRZ 码型 40 Gbps 波长转换器频谱与眼图如图 9 和图 10 所示.

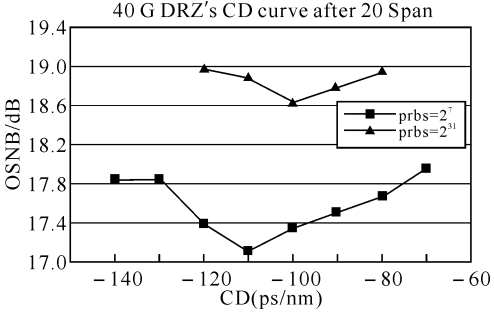
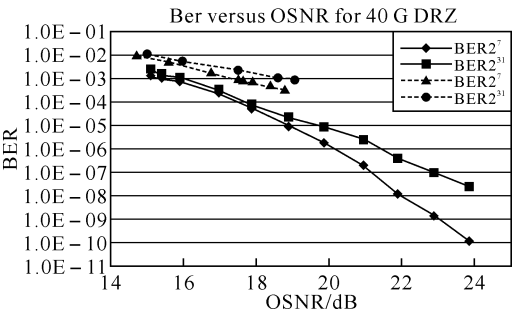


图 7 40 G 系统 1 600 km 传输后的 BER 与 OSNR 曲线  
Fig. 7 The curve of BER and OSNR of 1 600 km transmission of 40 G system

图 8 40 G 系统传输 1 600 km 后的色散曲线  
Fig. 8 The curve of Dispersion of 1 600 km transmission of 40 G system

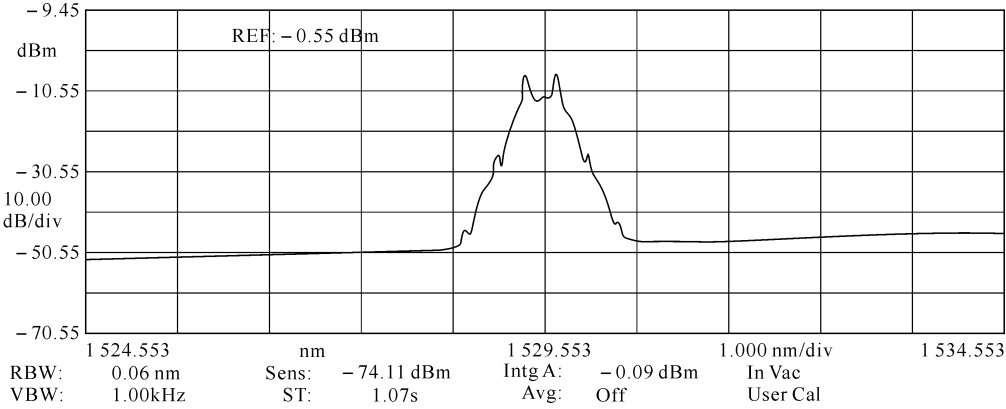


图 9 CSRZ 码型 40 Gbps OTU 典型光谱

Fig. 9 Typical spectrum of 40 G OTU of CSRZ code

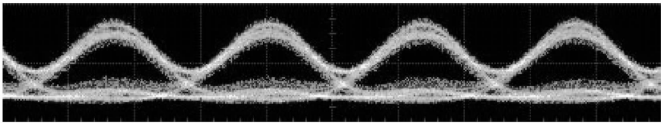


图 10 CSRZ 码型 40 Gbps OTU 典型眼图

Fig. 10 Typical eye diagram of 40 G OTU of CSRZ code

从测试结果显示 CSRZ 码的 40 Gbps 波长转换器可以沿用目前 WDM 系统的频率,但它的光谱谱宽比普通 NRZ 的谱宽要宽,同时它的占空比普通 NRZ 低.

4.3.2 CSRZ 码型 40 Gbps 波长转换器背靠背情况下 OSNR 与 BER 的性能 测试结果如图 11 所示,CSRZ 码 40 Gbps 的波长转换器在 E-03 误码率下可容忍的最低 OSNR 在 14 dB 左右.

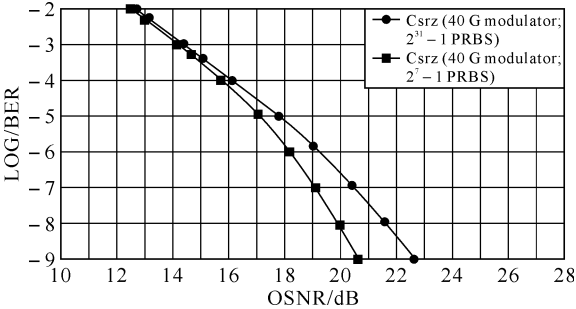


图 11 CSRZ 码型 40 Gbps OSNR 与 BER 的性能  
Fig. 11 40 G OSNR and BER performance of CSRZ code

## 5 结 语

通过 40 G OTU BER 和 OSNR 性能测试,对 40 Gbps 调制码型技术进行性能参数比较如表 3.

因此,40 G 编码调制的主要选择:

a. 适用于 40 G 长距离 (LH) 传输的编码 (NRZ or ODB) 的特征:典型传输数百公里、色散容限好、适用于 50 GHz 间隔系统、最大 600 km~800 km 的传输距离.

b. 适用于 40 G 长距离 (ULH) 传输的编码 (sDPSK or DPSK):差分相移键控调制格式,适用于 50/100 GHz 间隔系统、传输更远的距离、信噪比富余更大、1 000 km 以上传输距离、可支持 50 GHz 间隔.

长距离系统传输后的实验研究结果,包括可容忍的最低 OSNR、色散容限等数据来看,基于 ODB、CSRZ、DRZ 等调制编码技术的  $N \times 40$  G DWDM 系统已经成熟,可以满足商业应用信息传输需求,并将产生巨大的社会效益和经济效益.

表 3 40 G 优选码型系统性能对比

Table 3 Performance comparison of 40 G modulation code

项目	参数值				
系统规格	40×40 G	80×40 G	80×40 G	80×40 G	80×40 G
波长间隔	100 GHz	50 GHz	50 GHz	50 GHz	50 GHz
传输调制码型	NRZ	ODB	sDPSK	RZ-DQPSK	PM-QPSK
系统 OSNR	17 dB	16.5 dB	15.5 dB	14 dB	11.5 dB
	8×22 dB	10×22 dB	12×22 dB	16×22 dB	22×22 dB
	3×30 dB	3×30 dB	4×30 dB	5×30 dB	6×30 dB
传输跨段规格	1×35 dB	1×35 dB	1×38 dB	1×40 dB	1×44 dB
OADM/ROADM	最大支持	最大支持	最大支持	最大支持	最大支持
级联数量	4 级	6 级	10 级	10 级	16 级

参考文献:

[1] 张小丹,程丹,徐晶. 40G/100G 以太网关键技术研究与应用[J]. 光通信技术,2011(4):1-4.

[2] 李上一. 40G 波分复用(WDM)技术及应用分析[J]. 华东电力,2010(3):358-362.

[3] 牛耕,刘小英. 40G WDM——下一代光纤传输系统[J]. 邮电设计技术,2010(3):64-66.

[4] 张宾,胡庚强. 高速 40Gbit/s WDM 的发展[J]. 电信技术,2009(1):78-80.

[5] 顾晓仪,张杰. 全光通信网[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2001.

[6] 熊世桓. 40Gb/s 光传输系统主要影响因素及解决方法[J]. 光通信技术,2004(10):37-38.

[7] 孙学军 张述军. DWDM 传输系统原理与测试[M]. 北京:人民邮电出版社,2000.

[8] 钟一青. DWDM 传输系统的设计与仿真[J]. 长沙电力学院学报,2006(2):63-65.

[9] 杨英杰,侯丽,郭世杰. 32×10Gbit 密集波分复用系统仿真[J]. 光通信技术,2009(11):23-25.

[10] 冯先成. 网络交换机集群管理技术的应用研究[J]. 武汉化工学院学报,2006,27(3):43-47.

Performance test of 40 Gb/s DWDM System based on DRZ and CSRZ code

FENG Xian-cheng<sup>1</sup>, LI Han<sup>1</sup>, LUO Fan<sup>1</sup>, YUN Xiang<sup>2</sup>

(1. Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. Fiberhome Telecommunication Technologies Co. Ltd, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** It is the increasing capacity and rate requirement that improve the development of 40 GB/s DWDM Tb/s system, such as Broadband, IPTV, Triple Play, P2P, etc. Firstly, this paper introduces the current situation of  $N\times 40$  Gb/s system. Secondly it introduces the scheme of key technologies and modulation format (ODB, CSRZ, DRZ, DPSK, DQPSK) of  $N\times 40$  Gb/s system. And then it proposes optical interface parameters requirement of 40 Gb/s. Finally, it presents simulation result and test research of  $N\times 40$  Gb/s system.

**Key words:** DWDM; 40 Gb/s modulation Formant; OTU performance test; DRZ; CSRZ

本文编辑:陈小平