

3 种一阶偏振模色散模拟器

李喜红,段高燕,张晓光,张 茹,杨伯君
(北京邮电大学 理学院,北京 100876)

摘要:偏振模色散(PMD)已成为高速光通信系统的主要限制因素,为了研究它对光通信系统的影响,研制出了多种 PMD 模拟器代替实际光纤进行实验研究。文章介绍了 3 种一阶 PMD 模拟器的原理及其结构,并用固定分析法对其差分群时延(DGD)值进行了测量,对其性能进行了分析比较。实际操作中可根据实验目的来选择恰当的模拟器。
关键词:偏振模色散;模拟器;差分群时延;固定分析法
中图分类号:TN818 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8788(2006)01-0060-03

Three kinds of first-order polarization-mode-dispersion emulators

LI Xi-hong, DUAN Gao-yan, ZHANG Xiao-guang, ZHANG Ru, YANG Bo-jun

(School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Polarization Mode Dispersion (PMD) has become the main limiting factors on the high-speed optical fiber communication system, and in order to research it's effects on the optical fiber communication system, many kinds of PMD emulators have been developed to replace the real optical fiber for experiment researches. The principles and configurations of first-order three kinds of polarization-mode-dispersion emulators are introduced in this paper. Using the fixed analyzer method measures their differential group dispersion values. Their performances are analyzed and compared and the right PMD emulator will be selected according to the experiment purpose.
Key words: PMD;emulator;Differential Group Dispersion(DGD);fixed analyzer

在 3G 通信时代即将来临之际,高速率、大容量、长距离的光传输系统成为关注的焦点。然而,在 10 Gbit/s 以上速率的光纤通信系统中,偏振模色散(PMD)已成为损害系统性能的主要因素,所以,只有补偿光纤中的 PMD,才能确保光传输的高速率和长距离。实验室中采用的试验光纤通常较短,其 PMD 值不能反映实际光纤的特性,不利于 PMD 补偿的研究,目前倾向于采用 PMD 模拟器来代替实际光纤作为研究对象。本文报道了 3 种一阶 PMD 模拟器的原理及其结构,并用固定分析法对其差分群时延(DGD)进行了测量,结果证实,这 3 种一阶 PMD 模拟器可以很准确地模拟实际光纤,对光纤通信系统的 PMD 自动补偿研究极为有用。

1 原 理

在研究过程中,由于 PMD 的特殊性,很多实验无法在实际的光纤传输系统上完成,因此,需要利用 PMD 模拟器代替实际的光纤传输系统进行实验研究。PMD 模拟器^[1]在任意固定光频率上其 DGD 都应尽可能满足 Maxwellian 分布,同时模拟器应具有可控制、可重复、可快速变化和插入损耗尽可能小的特点。下面分别介绍 3 种一阶 PMD 模拟器的结

构和原理。
1.1 基于双折射晶体的一阶 PMD 模拟器
该 PMD 模拟器采用 1.5 μm 处有双折射并且损耗小的 YVO₄ 晶体作为双折射器件,它是由 6 个 YVO₄ 高双折射晶体和 6 个磁光偏振控制器组成^[2],其结构如图 1 所示。晶体中的任意偏振光都可分解为两部分,即寻常光(*n_o*)和非寻常光(*n_e*)。长度为 *l* 的晶体,DGD 值为 $\tau = |n_o - n_e| l / c$,式中 *c* 是真空中光速。对模拟器的任意状态,其 DGD 值的表达式为 $\tau = \sum_{N=1}^6 (-1)^{\gamma_N} 2^{N-1} \tau_{\min}$,式中 γ_N 表示第 *N* 个偏振控制器的状态,其值等于 0 或者 1, $\gamma_N = 0(1)$ 表征第 *N* 个偏振控制器使光的偏振方向顺时针(逆时针)旋转。对于这个模拟器, $\tau_{\min} = 0.7 \text{ ps}$, $\tau_{\max} = 44.1 \text{ ps}$ 。

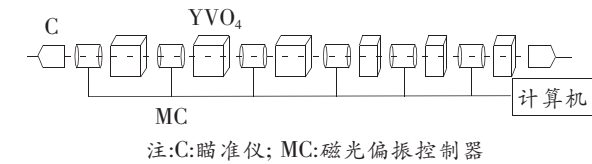


图 1 基于双折射晶体的一阶 PMD 模拟器结构示意图

收稿日期:2005-03-29
基金项目:国家自然科学基金资助项目(60377026)
作者简介:李喜红(1980-),女,湖南邵阳人,硕士,主要从事光通信方面的研究。

1.2 保偏光纤(PMF)级联的 PMD 模拟器

PMF 级联的 PMD 模拟器是现在普遍使用的一种 PMD 模拟器,其结构为偏振控制器(PC)与一段 PMF 相连接。PMF 作为光延迟线,两个偏振模之间的时延差由 PMF 的长度决定。通过调节 PC 来改变 PMF 之间的模式耦合角度,从而达到改变时延的目的。

1.3 电控差分时延线

此处用的是由加拿大无源器件 OZ Optics 公司生产的 DDL-650 电控偏振差分延迟线。该时延线是反射型的,它的可变设备是由一个输入光纤瞄准仪、输出光纤耦合器和偏振分束器组成。对于一个偏振态,将所有设备安置好对准,瞄准仪间给出固定的空隙;而对另外一个偏振态则为可变的空隙。瞄准仪将光导入腔内,耦合器将接收到的光聚集到输出光纤中。通过该设备的相对时延值由两个偏振态不同的传输距离决定。在 DDL-650 中,光程差由可移动的反射器反射的光实现准确控制。

1.4 固定分析法

图 2 是固定分析法测量原理方框图^[3],宽带光源掺铒光纤放大器(EDFA)发出的光经起偏器后变成线偏振光,并进入待测光纤,再经检偏器使两个

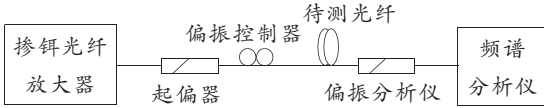


图 2 固定分析法测量原理方框图

偏振光在同一偏振方向上产生干涉,而两个偏振光的光程差会因为光波长的变化而改变,并从光谱功率曲线上反映出来,由此计算出光纤的 DGD。当光源的波长从 λ_1 变到 λ_N 时,在满足 $\Delta n \left(\frac{2\pi}{\lambda_1} - \frac{2\pi}{\lambda_N} \right) L = 2\pi N$ ($N=1,2,3\cdots$) 的条件下,光功率达到极大值,则有 $N = \Delta n \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_N} \right) L$, 式中 L 为光纤长度。

因为光在光纤中的传输速度为 $v = \frac{c}{n}$ (n 为折射率, c 为真空中的光速), 所以 $|\Delta v| = \frac{c\Delta n}{n^2}$ 即 $\Delta n = \frac{n^2 |\Delta v|}{c}$, 又因为光在光纤中的传输时延为 $\tau = \frac{L}{v}$,

于是有 $\Delta\tau = \frac{|\Delta v|}{v^2} L$ 即 $|\Delta v| = \frac{v^2 \Delta\tau}{L}$, 推出 $\Delta\tau$ 的表达式为

$$\Delta\tau = \frac{N\lambda_N\lambda_1}{c(\lambda_N - \lambda_1)} \quad (1)$$

2 实验结果及分析

实验中,我们用固定分析法分别对 3 种一阶 PMD 模拟器的 DGD 值进行了测量。为了便于对这 3 种一阶模拟器进行分析和比较,实验设定它们的 DGD 值均为 16 ps, 选择 $\lambda_1 = 1545.5 \text{ nm}$, $\lambda_N = 1550.5 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 5 \text{ nm}$ 。

2.1 用固定分析法测量基于双折射晶体的一阶 PMD 模拟器的 DGD 值

用固定分析法对该模拟器的 DGD 值进行测量,得到频谱图如图 3 所示,读图可知, N 值为 10。实验中根据公式(1)计算得到实验测定 DGD 值为 15.975 ps。

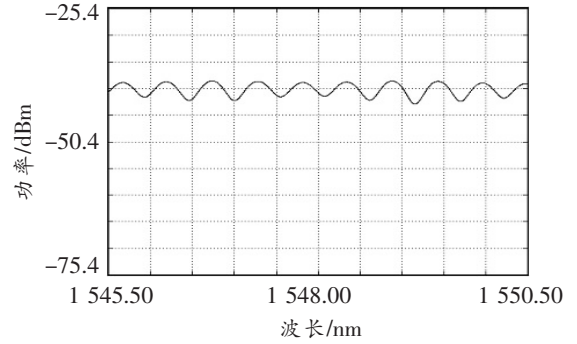


图 3 用固定分析法测量 PMD 模拟器 DGD (设定值为 16 ps) 所得到的频谱图

2.2 用固定分析法测量 PMF 级联的 PMD 模拟器的 DGD 值

对给定 DGD 值为 16 ps 的 PMF 级联的 PMD 模拟器,用固定分析法进行测量,其频谱图如图 4 所示。由图可知, N 值是 10, 根据公式(1), 计算得到实验测定的 DGD 值为 15.975 ps。

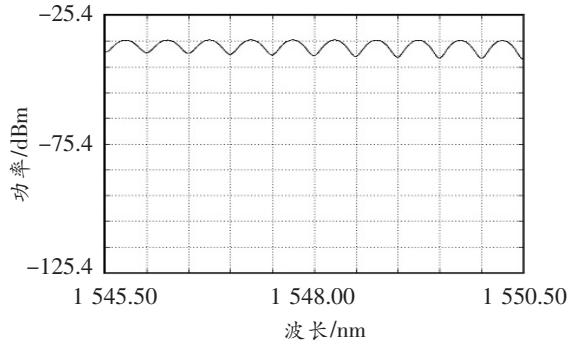


图 4 用固定分析法测量 PMF 级联的 PMD 模拟器 DGD (设定值为 16 ps) 所得到的频谱图

2.3 用固定分析法测量电控空气时延线的 DGD 值

图 5 为用固定分析法测量空气时延线的 DGD 值所得到的频谱图。由计算机设定其 DGD 值为

16 ps,从图中得到 N 为 10,根据公式(1)计算得到 DGD 实验测定值为 15.975 ps。

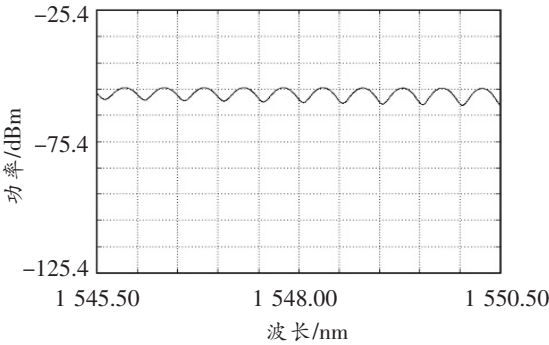


图 5 用固定分析法测量空气时延线 DGD (设定值为 16 ps)所得到的频谱图

3 结束语

本文比较详细地介绍了 3 种一阶 PMD 模拟器的原理及其结构,同时采用固定分析法对 DGD 值进行了测量。通过实验结果可以看到,测得的 3 种模拟器的 DGD 值与实验设定值很接近,说明这 3 种模拟器可以很好地模拟实际光纤。PMF 级联的

模拟器结构简单,成本低,易制作,适合实验室的研究工作,但响应慢,不能进行 PMD 自动补偿;基于双折射晶体的一阶 PMD 模拟器调节灵活,响应速度快,精确度高,能够实现自动补偿,但价格高;而电控差分时延线的各方面性能介于上述两种模拟器之间。实际操作时可根据具体实验要求和目的,选择最适合的一种模拟器。

参考文献:

[1] Hauer M C, Yu Q, Willner A E, *et al.* Compact, all-fiber PMD emulator using an integrated series of thin-film micro-heaters [A]. OFC2002 [C]. Washington: Ominipress,2002. 374-375.

[2] Yang Chang-xi, Li Shi-guang, Miao Hou-xun, *et al.* Compact first-order polarization mode dispersion compensator based on birefringent crystals [J]. Chin. Phys. Lett.,2004,21(5):326-328.

[3] 刘秀敏,李朝阳,李荣华,等,用 Sagnac 干涉法和固定分析法测量光纤偏振模的色散 [J]. 中国激光,2002,29(5):455-458.

(上接第 35 页)

无波长变换能力的网络中,将静态业务尽量汇聚进波带通道,从而显著减少 MG-PXC 的端口数,并相应地降低控制的复杂度,降低 MG-PXC 的成本。在具有实际意义的 MG-PXC 费用模型基础上,用网络仿真量化分析了该算法所带来的费用降低,并分析了波带粒度大小对网络费用的影响,这些分析对实际网络中波带粒度的选取具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] Dotaro E, Papadimitriou D, Noirie L, *et al.* Optical multi-granularity architecture framework [DB/OL]. <http://quimby.gnus.org/internet-drafts/draft-dotaro-ipo-multi-granularity-00.txt>,2001-07.

[2] Dotaro E. Optical multi-granularity architectural framework [DB/OL]. <http://ietf.mirror.netmonic.com/draft-dotaro-ipo-multi-granularity-02.txt>,2002-08.

[3] Pin-Han Ho, Mouftah Hussein T. Routing and wavelength assignment with multigranularity traffic in opti-

cal networks [J]. Journal of Lightwave Technology, 2002,20(8):1292-1303.

[4] Myungmoon Lee, Jintae Yu. Design of hierachical crossconnect WDM networks employing a two-stage multiplexing scheme of waveband and wavelength [J]. IEEE Journal, 2002,20(1):166-171.

[5] Ho P, Mouftah H, Wu J. A novel designing of optical crossconnects with multi-granularity provisioning support for the nextgeneration internet [A]. Proc. IEEE ICC'03 [C]. USA:IEEE CNF,2003. 1:582-587.

[6] Cao X, Qiao C, Anand V, *et al.* Wavelength assignment in waveband switching networks with wavelength conversion [A]. IEEE Communications Society Globecom 2004 [C]. USA:IEEE CNF,2004. 3:1943-1947.

[7] Cao X, Anand V, Xiong Y, *et al.* A study of waveband switching with multilayer multigranular optical cross-connects [J]. IEEE Journal,2003,21(9):1081-1095.