

文章编号: 1001-3806(2003)04-0371-03

## 初始啁啾参数对偏振模耦合产生啁啾的影响

王 晶 王珍丽

(中国海洋大学信息学院物理系, 青岛, 266071)

**摘要:** 研究了两正交偏振模耦合所致啁啾。利用耦合非线性薛定谔方程推导出带初始啁啾入射脉冲经偏振模耦合产生的啁啾表达式, 分析了各因素对啁啾的影响。研究结果得出, 入纤偏振角导致在两偏振方向上产生啁啾的差异; 较弱的偏振走离效应对啁啾有一定影响, 较强的偏振走离效应对啁啾几乎没有影响; 初始啁啾则起了决定性的作用。

**关键词:** 偏振模; 偏振复用; 耦合; 啁啾

**中图分类号:** TN929.11 **文献标识码:** A

## Initial chirp's effect on chirp caused by polarization modes coupling

Wang Jing, Wang Zhenli

(Department of Physics, Ocean University of China, Qingdao, 266071)

**Abstract** In this paper, chirp caused by polarization modes coupling on the input pulse with initial chirp is investigated. The function of chirp is induced through coupled nonlinear Schrodinger equation. Every factor's effect on the chirp is discussed. The results show: input polarization angle causes the chirp differs in the two polarization directions; for a single polarization direction, the weak polarization walk-off effect influences the chirp to a certain degree, while the strong influences little; the initial chirp prominently decides that caused by polarization modes coupling.

**Key words:** polarization modes; polarization divided multiplexing; coupling; chirp

### 引 言

光纤通信技术发展到今天, 已出现了各种复用系统。有光时分复用、光波分复用、光频分复用及微波副载波复用等系统<sup>[1,2]</sup>。而偏振复用系统则独具特点。双折射的结果, 对一般的光纤通信系统是有害的。但对非线性系统, 如孤子通信系统, 双折射是可以利用的, 偏振复用孤子通信系统就是双折射的一种重要应用<sup>[3,4]</sup>。

偏振复用孤子, 或称偏振正交孤子是由贝尔实验室的 Evangelides 和 Mollenauer 等人于 1992 年提出的<sup>[5]</sup>。偏振复用孤子技术是指在单信道码率不变的情况下, 使两列具有相同比特率、偏振方向正交的孤子序列通过复用在光纤中传输。这样, 信道容量就增长 1 倍, 所以世界各国的科学工作者对偏振复用孤子进行了许多研究。从理论和实验研究结果发现, 与普通孤子通信系统相比, 偏振复用孤子通信

系统能有效降低孤子间的相互作用, 增大系统传输距离, 并且使系统的传输速率增大 1 倍。我国对这方面的研究起步较晚, 基本上还处于初级阶段。可喜的是, 近年来发展迅速, 发表在杂志和国际会议上的文章逐年增加, 实验及实用系统的实施也时常见诸报道。鉴于对此方面研究的重要性, 如果现在不投入足够的人力物力加以研究, 势必在发展下一代高速光通信系统上受到限制。因此, 研究偏振复用孤子, 意义重大。

### 1 理论推导

光脉冲在强双折射光纤中传输满足耦合非线性方程<sup>[6]</sup>:

$$\frac{\partial A_x}{\partial z} + \beta_{1x} \frac{\partial A_x}{\partial t} + \frac{i}{2} \beta_{2x} \frac{\partial^2 A_x}{\partial t^2} + \frac{\alpha}{2} A_x = i \gamma \left[ |A_x|^2 + \frac{2}{3} |A_y|^2 \right] A_x \quad (1a)$$

$$\frac{\partial A_y}{\partial z} + \beta_{1y} \frac{\partial A_y}{\partial t} + \frac{i}{2} \beta_{2y} \frac{\partial^2 A_y}{\partial t^2} + \frac{\alpha}{2} A_y = i \gamma \left[ |A_y|^2 + \frac{2}{3} |A_x|^2 \right] A_y \quad (1b)$$

式中,  $A_x, A_y$  分别为脉冲在  $x$  轴和  $y$  轴上的振幅,

作者简介: 王 晶, 女, 1962 年 2 月出生。教授。主要从事光孤子通信技术研究。

收稿日期: 2002-10-08; 收到修改稿日期: 2003-01-17

$\beta_{1x}, \beta_{1y}$  为两偏振方向脉冲群速度的倒数,  $\beta_{2x}, \beta_{2y}$  为两偏振方向 2 阶群速度色散系数,  $\alpha$  为光纤损耗系数,  $\gamma$  为非线性系数,  $z$  为传输距离,  $t$  为时间。令  $T = t - \beta_{1x}z$ , 并且只讨论偏振模耦合作用所产生的啁啾, 则(1)式变为:

$$\frac{\partial A_x}{\partial z} = i\gamma \left[ |A_x|^2 + \frac{2}{3} |A_y|^2 \right] A_x \quad (2a)$$

$$\frac{\partial A_y}{\partial z} + d \frac{\partial A_y}{\partial T} = i\gamma \left[ |A_y|^2 + \frac{2}{3} |A_x|^2 \right] A_y \quad (2b)$$

式中,  $d = \beta_{1y} - \beta_{1x}$  为两偏振模走离效应参量,  $d$  越大就表明走离效应越强。而上述方程的解可表述为:

$$A_x = A_x(0, T) \exp(i\varphi_x) \quad (3a)$$

$$A_y = A_y(0, T - zd) \exp(i\varphi_y) \quad (3b)$$

式中,

$$\varphi_x = \gamma \int_0^z |A_x(0, T)|^2 + \frac{2}{3} \int_0^z |A_y(0, T - zd)|^2 dz \quad (4a)$$

$$\varphi_y = \gamma \int_0^z |A_y(0, T)|^2 + \frac{2}{3} \int_0^z |A_x(0, T + zd)|^2 dz \quad (4b)$$

上式表明, 光脉冲在光纤中传输时非线性效应来自于自相位调制和偏振模间耦合的共同作用。每个偏振模的相位与两模的初始条件有关, 所以设初始入纤脉冲为具有啁啾的高斯型, 输入功率为  $P_0$ , 输入偏振角为  $\theta$ , 即:

$$A_x(0, T) = \sqrt{P_0 \cos^2 \theta} \exp \left\{ -\frac{1+iC}{2} \frac{T^2}{T_0^2} \right\} \quad (5a)$$

$$A_y(0, T) = \sqrt{P_0 \sin^2 \theta} \exp \left\{ -\frac{1+iC}{2} \frac{T^2}{T_0^2} \right\} \quad (5b)$$

代入(4)式计算得:

$$\varphi_x = \gamma P_0 \{ \cos^2 \theta \exp(-T^2) + \sin^2 \theta \frac{\sqrt{\pi} T_0}{3d} [\operatorname{erf}(T) - \operatorname{erf}(T - \delta)] \} \quad (6a)$$

$$\varphi_y = \gamma P_0 \{ \sin^2 \theta \exp(-T^2) + \cos^2 \theta \frac{\sqrt{\pi} T_0}{3d} [\operatorname{erf}(T + \delta) - \operatorname{erf}(T)] \} \quad (6b)$$

式中,  $\tau = T/T_0, \delta = z/T_0$ , erf 代表误差函数, 那么, 两偏振模耦合所产生的啁啾为:

$$\Delta \nu_x = 2\gamma P_0 \frac{z}{T_0} \{ \tau \cos^2 \theta \exp(-\tau^2) + \frac{\sin^2 \theta}{3\delta} [\exp\{- (\tau - \delta)^2\} - \exp(-\tau^2)] \} \quad (7a)$$

$$\Delta \nu_y = 2\gamma P_0 \frac{z}{T_0} \{ \tau \sin^2 \theta \exp(-\tau^2) + \frac{\cos^2 \theta}{3\delta} [\exp\{- (\tau + \delta)^2\} - \exp(-\tau^2)] \} \quad (7b)$$

(7) 式的结果为自相位调制和耦合模共同作用产生的啁啾, 然而实际情况中必然存在群速度色散所致啁啾, 其啁啾大小为<sup>[6]</sup>:  $\Delta \nu_b = [C - (1 + C^2)z/L_D] \times \tau [(1 - Cz/L_D)^2 + (z/L_D)^2]$ 。由于方程(1)无解析解, 采用数值计算的方法计算了总啁啾与各个因素的关系。由此可知, 有众多因素在影响着偏振模耦合产生的啁啾, 尤其是初始啁啾, 它与偏振模耦合产生的啁啾关系复杂。笔者逐一分析讨论各因素与偏振模耦合产生的啁啾之间的关系。

## 2 分析与讨论

从(7a)式、(7b)式中可以看到, 光纤的非线性系数  $\gamma$ 、脉冲的入纤功率  $P_0$  都与偏振模耦合产生的啁啾成正比, 而脉宽  $T_0$ 、入纤偏振角  $\theta$ 、偏振模走离效应参量  $d$ 、初始啁啾参量  $C$  则与偏振模耦合产生的啁啾有密切关系。在下面的讨论中, 为便于计算起见, 不妨取  $P_0 = 10\text{mW}$ ,  $\gamma = 2\text{W/km}$ ,  $T_0 = 10\text{ps}$ ,  $L_D = 50\text{km}$ , 则讨论如下。

### 2.1 入射偏振角 $\theta$ 对偏振模耦合产生的啁啾的影响

从(7)式不难看出, 除了以  $\theta = \pi/4$  等幅注入以外,  $\theta$  的作用将使两偏振方向的啁啾量产生相应的差异。图 1 表现的是  $z = 50\text{km}$ ,  $d = 10\text{ps/km}$ ,  $\theta = \pi/4, \theta = \pi/3$  并不计初始啁啾的影响时, 两个偏振方向上经偏振模耦合产生的啁啾量。  $\theta = \pi/4$  时两偏振方向上得到的啁啾完全相等;  $\theta = \pi/3$  时, 在脉冲中心,  $y$  轴得到的啁啾比  $x$  轴得到的相对大许多, 而在脉冲末端, 二者相等。正是因为  $\theta$  决定了模间功率分配差异, 才导致了啁啾量的差异。

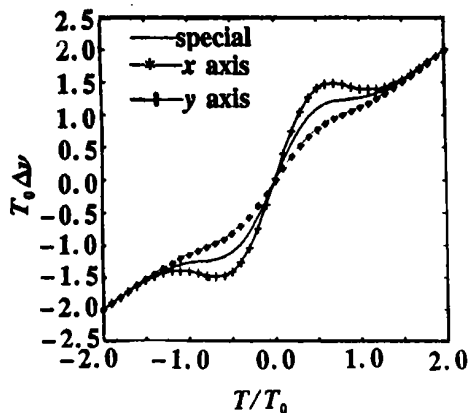


Fig. 1 The chirp induced by polarization modes coupling with  $\theta = \pi/4, \theta = \pi/3$

## 2.2 偏振模走离效应参量 $d$ 对偏振模耦合产生的啁啾的影响

为突出  $d$  的作用, 取  $\theta = \pi/4$ ,  $\tau = 0$ ,  $z = 10\text{km}$ , 即分析在脉冲中心偏振模耦合产生的啁啾, 并同样忽略初始啁啾的影响。由图 2 可知, 在  $0 < d \leq 10\text{ps/km}$  区域内, 偏振模耦合产生的啁啾值有一极大值, 在极值点两侧, 啁啾值迅速趋于 0; 在  $10\text{ps/km} \leq d \leq 70\text{ps/km}$  区域, 啁啾值继续接近于 0 且变化缓慢; 在  $d \geq 70\text{ps/km}$  区域, 啁啾值一直为 0, 这说明两偏振模间走离效应很大时, 啁啾量可视为 0, 这正体现了此时模间耦合效应消失的情形。因此, 只有较弱的模间走离效应才对啁啾有贡献, 然而影响很小; 而较强的模间走离效应对啁啾没有影响。

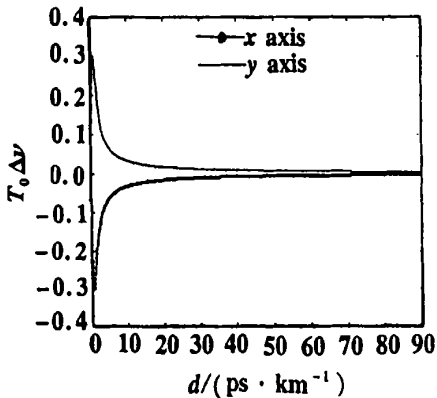


Fig. 2 The relationships between the chirp of polarization coupling mode and walk-off effect

## 2.3 初始啁啾 $C$ 参量对偏振模耦合产生的啁啾的影响

图 3 表现的是取  $\theta = \pi/4$ ,  $d = 10\text{ps/km}$ ,  $z = 50\text{km}$  时, 初始啁啾  $C$  分别取 1, 0.25, 0, -0.25, -1 时产生的偏振耦合模啁啾。由图 3 可知, 在脉冲中心, 初始啁啾越强, 偏振模耦合产生的啁啾就越大, 这说明, 有初始啁啾时产生的偏振耦合模啁啾量较无初始啁啾时产生的大。值得注意的是, 只有当初始啁啾很小时, 在脉冲中心附近, 相位调制所致啁啾才占主要地位; 否则, 初始啁啾占主要地位。这说明初始啁啾是决定偏振耦合模啁啾大小的关键因素。

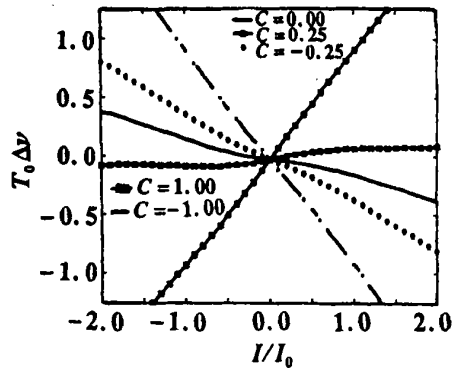


Fig. 3 The relationships between the chirp of polarization coupling mode and initial chirp

## 3 结 果

在偏振模耦合模式下, 入纤偏振角  $\theta$  实现了不同偏振方向上的功率分配, 从而决定了两偏振方向上的得到啁啾的差异。在同一方向上, 偏振模走离效应较弱时, 即  $d < 10\text{ps/km}$  时, 它对偏振模耦合产生的啁啾有一定的影响, 偏振模走离效应较强时, 它的影响很小; 初始啁啾  $C$  对偏振模耦合产生啁啾的影响最为关键, 直接决定了偏振模耦合产生的啁啾的大小。从物理机制来讲, 偏振模耦合产生了啁啾, 此啁啾就可以抑制偏振模色散, 这就是偏振复用孤子通信系统中非线性效应抵消了双折射效应的本质所在。这样, 从啁啾的角度, 即物理本质上, 说明了文献[3]中的实验结果。

### 参 考 文 献

- [1] Ellis A D, Lucek J K, Pitcher D *et al.* Electron Lett, 1998, 34 (18): 1766~ 1768.
- [2] Shimojoh N, Naito T, Tanaka T *et al.* Electron Lett, 2000, 36 (2): 155~ 156.
- [3] Eleftherianos A, Syvridis D, Spicopoulos T *et al.* Opt Commun, 1998, 154(1): 14~ 18.
- [4] Zhang X, Karlsson M, Andrekeson P A. IEEE Photon Technol Lett, 1998, 10(12): 1742~ 1744.
- [5] Evangelides S G, Mollenauer L F, Gordon J P *et al.* J Lightwave Technol, 1992, 10(1): 28~ 35.
- [6] Agrawal G P. Nonlinear fiber optics. New York: Academic Press, 1989.