

周期色散管理波分复用系统中交叉相位调制边带不稳定性理论分析

李齐良¹⁾ 孙丽丽¹⁾ 陈均朗¹⁾ 李庆山¹⁾
唐向宏¹⁾ 钱 胜¹⁾ 林理彬²⁾

1) 杭州电子科技大学通信工程学院通信与系统研究所光纤通信实验室 杭州 310018)

2) 四川大学物理科学与技术学院 成都 610064)

(2006 年 5 月 18 日收到 2006 年 9 月 8 日收到修改稿)

色散管理是在波分复用系统中,周期地使用色散符号相反的光纤,使总的路径平均色散系数接近于零,系统中的色散就得到了补偿的一种技术.研究了波分复用集总放大色散管理系统中交叉相位调制的不稳定性,解析和数值研究表明,当路径平均色散系数表现为反常色散时,存在多阶边带;当路径平均色散系数表现为正常色散时,解析研究表明只存在最低阶边带,数值模拟显示噪声谱中最低阶边带噪声谱功率最强,解析和数值研究得到的结论一致.

关键词:色散管理,波分复用,边带不稳定性

PACC:4225B,4281D

1. 引 言

色散管理是在波分复用系统中,周期地使用色散符号相反的光纤,使总的路径平均色散系数接近于零,系统中的色散就得到了补偿的一种技术.色散管理孤子(dispersion managed soliton, DMS)方案是在系统中运用色散管理技术来控制 and 改善孤子传输性能的新的传输方案,与传统孤子传输相比, DMS 有利于降低 Gordon-Haus(G-H)定时抖动和相邻孤子相互作用^[1-4].理想传统孤子传输方案中,孤子能量和形状保持不变,不考虑色散和光纤的非线性导致的脉冲失真的累积,这要求光纤中色散和非线性严格平衡,由于实际通信光纤链路中,存在着损耗,那么依赖于光强度的非线性会变弱,打破了色散和非线性的平衡,如果采用色散渐减光纤,可以保持色散和非线性的平衡,但是色散低到一定程度,又会导致四波混频效应的产生,所以传统的孤子传输方案存在自身的弱点.色散管理孤子在一个色散管理周期内,要经历两段色散符号相反的光纤,相应要经历被展宽和压缩的呼吸过程,理论和实验已经证明光纤中色散管理孤子能够稳定传输^[5-9].

在超长距离光纤通信系统中,在接收端光信号

要保持一定的功率才能使得信号获得足够的信噪比,因此在色散管理系统就必须周期地使用光放大器,光信号的功率也会周期变化,由于自相位调制(self-phase modulation, SPM)和交叉相位调制(cross-phase modulation, XPM)效应,使得折射率也会周期地变化,这样在链路中形成了长周期 Bragg 光纤光栅.光纤中的非线性效应和光纤色散将导致光纤中的调制不稳定性(modulational instability, MI),国内外对光脉冲在光纤中传输进行了大量的研究^[10-15].调制不稳定性是指在时域上,连续波的幅度或相位在微小的扰动下,其扰动幅度呈指数增长,连续或者准连续光波破缺成具有高重复频率的超短脉冲串;在频域上,由于调制不稳定性,在光波的中心频率附近,产生两个边带,高速率传输的 WDM 系统,会引起信道之间的干扰.调制不稳定性产生新的边带中,如果某个频率满足 Bragg 光栅相位匹配条件,这个频率的光就会被加强,边带中其他频率的光就会被抑制,这些研究在最近的文献中有详细的阐述^[10-15].

Kaewplung 等人^[16]研究了单波长信道中色散管理系统的调制不稳定性,忽略了波分复用系统中的交叉相位调制效应.本文将研究色散管理系统,周期集总放大波分复用链路中,具有交叉相位调制情形下,边带不稳定性特性.

2. 色散管理孤子耦合方程

在色散管理波分复用系统中,两个信道光脉冲传输的耦合方程为

$$\frac{\partial U_1}{\partial z} = -\frac{\alpha(z)}{2}U_1 - \frac{i}{2}\beta_2(z)\frac{\partial^2 U_1}{\partial t^2} + i\gamma(z)\chi(|U_1|^2 + 2|U_2|^2)U_1, \quad (1a)$$

$$\frac{\partial U_2}{\partial z} = -\frac{\alpha(z)}{2}U_2 - \frac{i}{2}\beta_2(z)\frac{\partial^2 U_2}{\partial t^2} + i\gamma(z)\chi(|U_2|^2 + 2|U_1|^2)U_2, \quad (1b)$$

这里 U_1, U_2 为电场慢变包络, z 为沿光纤的距离, t 为时间, $\beta_2(z)$ 为二阶色散系数, $\gamma = 2\pi n_2/\lambda A_{\text{eff}}$ 为非线性 Kerr 系数, n_2 为光纤非线性折射率, A_{eff} 为光纤的有效面积, α 为光纤中损耗或增益, 在一个色散管理的周期 L_{map} 内,

$\beta_2 = \begin{cases} \beta_{21} < 0, nL_{\text{map}} < z < nL_{\text{map}} + L_1, \\ \beta_{22} > 0, nL_{\text{map}} + L_1 < z < (n+1)L_{\text{map}}, \end{cases}$
 $n = 0, 1, 2, \dots$, 同时一个周期 L_{map} 内, 路径平均色散系数 $\beta_{2\text{av}}$ 趋近于 0, $\beta_{2\text{av}}$ 定义为

$$\beta_{2\text{av}} = (\beta_{21}L_1 + \beta_{22}L_2)/L_{\text{map}}.$$

3. 边带增益分析计算

3.1. 边带增益的计算

对方程 (1) 做变换,

$$U_1(z, t) = u_1(z, t) \exp\left(-\int_0^z 1/2\alpha(z') dz'\right),$$

$$U_2(z, t) = u_2(z, t) \exp\left(-\int_0^z 1/2\alpha(z') dz'\right),$$

代入 (1) 式可得

$$\frac{\partial u_1}{\partial z} = -\frac{i}{2}\beta_2(z)\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} + i\gamma(z)\chi(|u_1|^2 + 2|u_2|^2)u_1, \quad (2a)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial z} = -\frac{i}{2}\beta_2(z)\frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} + i\gamma(z)\chi(|u_2|^2 + 2|u_1|^2)u_2, \quad (2b)$$

其中

$$\chi(z) = \gamma(z) \exp\left(-\int_0^z \alpha(z') dz'\right).$$

方程 (2a) (2b) 稳态的平面波解

$$u_1(z, t) = \sqrt{P_1} \exp\left[i(P_1 + 2P_2)\int_0^z \chi(z') dz'\right],$$

$$u_2(z, t) = \sqrt{P_2} \exp\left[i(P_2 + 2P_1)\int_0^z \chi(z') dz'\right],$$

其中 P_1, P_2 分别是输入信号的功率, 光脉冲的幅度受到扰动时

$$u_1(z, t) = (\sqrt{P_1} + a_1) \exp\left[i(P_1 + 2P_2)\int_0^z \chi(z') dz'\right], \quad (3a)$$

$$u_2(z, t) = (\sqrt{P_2} + a_2) \exp\left[i(P_2 + 2P_1)\int_0^z \chi(z') dz'\right]. \quad (3b)$$

将 (3) 式代入 (2a) (2b) 式后 得到

$$\frac{\partial a_1}{\partial z} = -\frac{i}{2}\beta_2(z)\frac{\partial^2 a_1}{\partial t^2} + i\gamma(z) \times [P_1(a_1 + a_1^*) + 2\sqrt{P_1P_2}(a_2 + a_2^*)], \quad (4a)$$

$$\frac{\partial a_2}{\partial z} = -\frac{i}{2}\beta_2(z)\frac{\partial^2 a_2}{\partial t^2} + i\gamma(z) \times [P_2(a_2 + a_2^*) + 2\sqrt{P_1P_2}(a_1 + a_1^*)], \quad (4b)$$

式中 $\beta_2(z) = \beta_{2\text{av}} + \beta_{2\text{fl}}(z)$, 色散管理系统中, $\beta_2(z)$ 为周期函数, 当放大器沿着光纤链路周期排布时, $\chi(z)$ 也为周期函数, 将 $\beta_2(z)$ 和 $\chi(z)$ 展开成傅里叶级数

$$\chi(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n \exp(i\kappa_f n z),$$

$$\beta_2(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} G_n \exp(i\kappa_g n z),$$

其中 κ_f 和 κ_g 是 $\chi(z)$ 和 $\beta_2(z)$ 的波数, F_n 和 G_n 是 $\chi(z)$ 和 $\beta_2(z)$ 的傅里叶级数的展开系数. 即 $\kappa_f = 2\pi/L_1$, $\kappa_g = 2\pi/L_2$, L_1, L_2 的值与放大器排布周期和色散管理周期之间的关系有关, 这里, 假定色散管理周期与放大器周期相同. 由于放大器周期分布, 相当于形成长周期光纤光栅, 假定 a_1, a_2 具有 $\kappa_p/2$ 波数的扰动满足 Bragg 光栅相位匹配的条件, 作变换 $a_1 = b_1 \exp(-i\kappa_p z/2)$, $a_2 = b_2 \exp(-i\kappa_p z/2)$, $\kappa_p = 2p\pi/L$ 代入 (4a) (4b) 式得到

$$\frac{\partial b_1}{\partial z} = -\frac{i}{2}G_0 \frac{\partial^2 b_1}{\partial t^2} + \frac{i}{2}\kappa_p b_1 + iF_0 P_1 b_1 + iF_p^* P_1 b_1^* + i2\sqrt{P_1 P_2} F_0 b_2 + i2\sqrt{P_1 P_2} F_p^* b_2^*,$$

$$\frac{\partial b_2}{\partial z} = -\frac{i}{2}G_0 \frac{\partial^2 b_2}{\partial t^2} + \frac{i}{2}\kappa_p b_2 + iF_0 P_2 b_2$$

$$+ iF_p^* P_2 b_2^* + i2\sqrt{P_1 P_2} F_0 b_1 \\ + i2\sqrt{P_1 P_2} F_p^* b_1^* ,$$

对其作傅里叶变换, 得到

$$\frac{\partial \hat{b}_1}{\partial z} = \frac{i}{2} G_0 \Omega^2 \hat{b}_1 + \frac{i}{2} \kappa_p \hat{b}_1 + iF_0 P_1 \hat{b}_1 \\ + iF_p^* P_1 \hat{b}_1^* + i2\sqrt{P_1 P_2} F_0 \hat{b}_2 \\ + i2\sqrt{P_1 P_2} F_p^* \hat{b}_2^* , \quad (5a)$$

$$\frac{\partial \hat{b}_2}{\partial z} = \frac{i}{2} G_0 \Omega^2 \hat{b}_2 + \frac{i}{2} \kappa_p \hat{b}_2 + iF_0 P_2 \hat{b}_2 \\ + iF_p^* P_2 \hat{b}_2^* + i2\sqrt{P_1 P_2} F_0 \hat{b}_1 \\ + i2\sqrt{P_1 P_2} F_p^* \hat{b}_1^* , \quad (5b)$$

Ω 是扰动(噪声)光子频率与波长中心光子频率之差, F_p^* 为 F_p 的共轭. 假定 $\hat{b}_1 = R_1 + iI_1$, $\hat{b}_2 = R_2 + iI_2$, $F_p = F_{1p} + iF_{2p}$ 代入上式, 得到

$$\frac{\partial}{\partial z} \begin{pmatrix} R_1 \\ I_1 \\ R_2 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_{2p} P_1 & -\delta + F_{1p} P_1 & 2\sqrt{P_1 P_2} F_{2p} & 2\sqrt{P_1 P_2} (F_{1p} - F_0) \\ \delta + F_{1p} P_1 & -F_{2p} P_1 & 2\sqrt{P_1 P_2} (F_{1p} + F_0) & -2\sqrt{P_1 P_2} F_{2p} \\ 2\sqrt{P_1 P_2} F_{2p} & 2\sqrt{P_1 P_2} (F_{1p} - F_0) & F_{2p} P_2 & -\delta + F_{1p} P_2 \\ 2\sqrt{P_1 P_2} (F_{1p} + F_0) & -2\sqrt{P_1 P_2} F_{2p} & \delta + F_{1p} P_2 & -F_{2p} P_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_1 \\ I_1 \\ R_2 \\ I_2 \end{pmatrix} ,$$

式中 $\delta = 1/2 G_0 \Omega^2 + 1/2 \kappa_p + F_0 P_1$.

求解矩阵的本征值, 得到 n 阶边带的幅度增益为

$$\lambda(\Omega) = \text{Re}(\sqrt{2\sqrt{K_2} - K_1}) , \quad (6)$$

其中

$$K_1 = 4 \left[\frac{G_0}{2} \Omega^2 + \frac{\kappa_p}{2} \right]^2 + 4 \left[\frac{G_0}{2} \Omega^2 + \frac{\kappa_p}{2} \right] \\ \times F_0 (P_1 + P_2) + \mathcal{X} |F_p|^2 - F_0^2 \\ \times (P_1^2 + 8P_1 P_2 + P_2^2) , \\ K_2 = (|F_p|^2 - F_0^2) (P_1 + P_2)^2 \\ \times (P_1^2 + 14P_1 P_2 + P_2^2) , \\ - 4F_0 (|F_p|^2 - F_0^2) \left[\frac{G_0}{2} \Omega^2 + \frac{\kappa_p}{2} \right] \\ \times (P_1^3 + P_2^3 + 15P_1^2 P_2 + 15P_1 P_2^2) \\ + 4F_0^2 \left[\frac{G_0}{2} \Omega^2 + \frac{\kappa_p}{2} \right]^2 (P_1^2 + 14P_1 P_2 + P_2^2) ,$$

假定色散管理周期与放大器周期相同, 反常色散光纤损耗 α_1 , 长度为 l_1 , 非线性系数 γ_1 , 正常色散光纤长度为损耗 α_2 , 长度为 l_2 , 非线性系数 γ_1 , 这样 $L_{\text{map}} = l_1 + l_2$, 傅里叶级数的系数为

$$F_0 = \frac{1}{L_{\text{map}}} \left(\int_0^{l_1} \gamma_1 e^{-\alpha_1 z} dz + \int_{l_1}^{L_{\text{map}}} \gamma_2 e^{-\alpha_2 z} dz \right) \\ = \frac{1}{L_{\text{map}}} \left[\gamma_1 \frac{1 - e^{-\alpha_1 l_1}}{\alpha_1} + \gamma_2 \frac{e^{-\alpha_2 l_1} (1 - e^{-\alpha_2 l_2})}{\alpha_2} \right] , \\ F_p = \frac{1}{L_{\text{map}}} \left(\int_0^{l_1} \gamma_1 e^{-\alpha_1 z} e^{-i2p\pi z/L_{\text{map}}} dz \right)$$

$$+ \int_{l_1}^{L_{\text{map}}} \gamma_2 e^{-\alpha_2 z} e^{-i2p\pi z/L_{\text{map}}} dz \Big) \\ = \left[\gamma_1 \frac{1 - e^{-(\alpha_1 + i2p\pi/L_{\text{map}}) l_1}}{\alpha_1 L_{\text{map}} + i2p\pi} \right. \\ \left. + \gamma_2 \frac{e^{-(\alpha_2 + i2p\pi/L_{\text{map}}) l_1}}{\alpha_2 L_{\text{map}} + i2p\pi} (1 - e^{-(\alpha_2 + i2p\pi/L_{\text{map}}) l_2}) \right] , \\ G_0 = \frac{1}{L_{\text{map}}} \left(\int_0^{l_1} \beta_{21} dz + \int_{l_1}^{L_{\text{map}}} \beta_{22} dz \right) \\ = \frac{1}{L_{\text{map}}} (\beta_{21} l_1 + \beta_{22} l_2) .$$

3.2. 仿真分析

两个脉冲包络的功率取 $P_1 = 1$ mW, $P_2 = 1.5$ mW, 反常色散光纤损耗系数 $\alpha_1 = 0.2$ dB/km, 非线性系数 $\gamma_1 = 1.6$ W⁻¹ km⁻¹, 二阶色散系数 $\beta_{21} = -20.5$ ps²/km, 在一个色散管理周期内, 反常色散光纤的长度为 50 km, 正常色散光纤损耗系数 $\alpha_2 = 0.22$ dB/km, 非线性系数 $\gamma_1 = 2.6$ W⁻¹ km⁻¹, 二阶色散系数 $\beta_{22} = 40$ ps²/km, 在一个色散管理周期内, 正常色散光纤的长度为 25 km, 利用(6)式, 可以得到色散管理系统各阶边带的增益如图 1 所示, 这里路径平均色散系数 $\beta_{2\text{av}} = -0.33$ ps²/km, 总的色散效应表现为反常色散, 从图 1 中可以看出, 由于放大器周期分布, 形成了一个折射率 Bragg 光栅, 边带的增益在满足 Bragg 光栅相位匹配条件的扰动能获得比较大的增益, 这样就形成了离散的增益谱, 即新的扰动边带. 研究进一步发现, 如果路径平均色散系数为

0 新的边带增益为 0 ;如果路径平均色散系数表现为正常色散 $\beta_{2av} = 0.16 \text{ ps}^2/\text{km}$,只出现 0 阶边带 ,高阶边带被抑制了 ,如图 2 所示 ,这是色散管理系统具有交叉相位调制所特有的现象 .当 β_{21} , β_{22} 分别取 $-20.5 \text{ ps}^2/\text{km} , 20 \text{ ps}^2/\text{km}$ 和 $-20 \text{ ps}^2/\text{km} , 20.5 \text{ ps}^2/\text{km}$,一个色散管理周期内反常色散光纤和正常色散光纤的长度均为 50 km 时 ,得到图 3 和图 4 ,也说明了平均

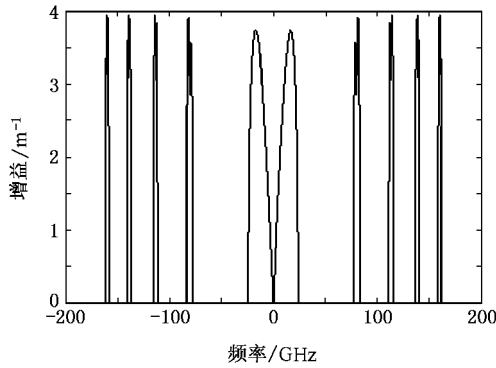


图 1 $\beta_{21} = -20.5 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{22} = 40 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{2av} = -0.33 \text{ ps}^2/\text{km}$ 时 ,边带增益谱

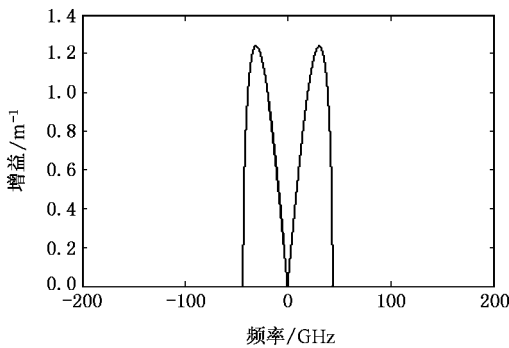


图 2 $\beta_{21} = -20 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{22} = 40.5 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{2av} = 0.16 \text{ ps}^2/\text{km}$ 时 ,边带增益谱

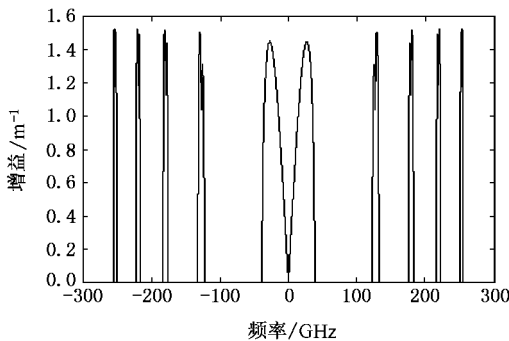


图 3 $\beta_{21} = -20.5 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{22} = 20 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{2av} = -0.25 \text{ ps}^2/\text{km}$ 时 ,边带增益谱

路径色散系数如果表现为反常色散 ,有多个边带 ,正常色散的话 ,只有最低阶边带 .如果路径平均色散系数严格为 0 ,边带增益也为 0 .得到的情况也是一样的 .

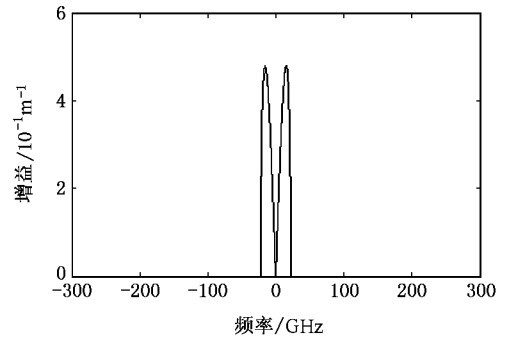


图 4 $\beta_{21} = -20 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{22} = 20.5 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{2av} = 0.25 \text{ ps}^2/\text{km}$ 时 ,边带增益谱

4. 数值模拟

这里 ,我们利用分离变量方法对色散管理系统孤子系统中噪声谱进行模拟 ,噪声模型方程是(4a)和(4b) .参数基本上与 3.2 节中一致 ,两个脉冲包络的功率取 $P_1 = 1 \text{ mW} , P_2 = 1.5 \text{ mW}$,噪声的强度为 10^{-4} mW 量级 .我们分别模拟了 $\beta_{21} = -20.5 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{22} = 40 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{2av} = -0.33 \text{ ps}^2/\text{km}$ 和 $\beta_{21} = -20 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{22} = 40.5 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{2av} = 0.16 \text{ ps}^2/\text{km}$ 的情况 .在路径平均色散系数表现为反常色散 ,此时 $\beta_{2av} = -0.33 \text{ ps}^2/\text{km}$ 的时候 ,噪声谱如图 5 所示 ,由该图可以看出 ,噪声谱中明显存在多阶边带 ,与图 1 得到的结论是一致的 ,即噪声中满足 Bragg 折射率光栅相位匹配条件的光子 ,能量得到加强 .图 6 是路径平均色散系数为 $0.16 \text{ ps}^2/\text{km}$ 时噪声谱图 ,此时路径平均色散表现为

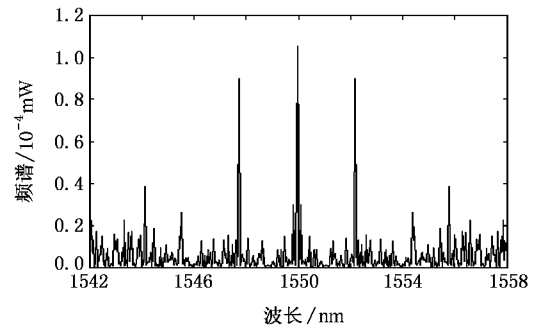


图 5 $\beta_{21} = -20.5 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{22} = 40 \text{ ps}^2/\text{km} , \beta_{2av} = 0.33 \text{ ps}^2/\text{km}$ 时 ,输出端调制不稳定性噪声光谱

正常色散,图中高阶边带得到抑制,只有低阶边带存在,与3.2节得到的结论一致。这是因为调制不稳定性一般发生在反常色散光纤中,只有在交叉相位调制情况才会在这种长周期光纤光栅中出现调制不稳定性,高阶边带在路径平均色散表现为正常色散时,相位匹配条件难于满足。

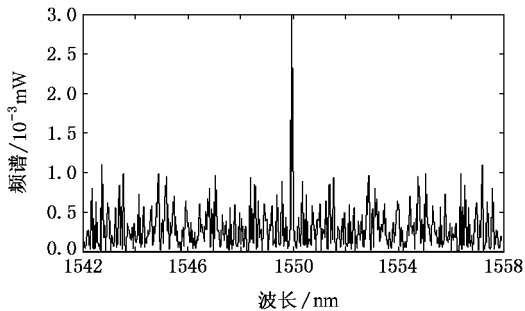


图6 $\beta_{21} = -20 \text{ ps}^2/\text{km}$, $\beta_{22} = 40.5 \text{ ps}^2/\text{km}$, $\beta_{av} = 0.16 \text{ ps}^2/\text{km}$ 时, 输出端调制不稳定性噪声光谱

5. 结 论

光纤和介质波导中调制不稳定性的存在,很早以前以及最近有实验对其进行了验证^[17-19],色散管理系统调制不稳定性的研究,以 Kaewplung 等人^[16]

的研究具有典型的意义,但是要从实验上进行验证,需要在实验室搭建一个超长距离的色散管理系统,有一定的难度。采用解析和数字仿真实验的方法为很多研究人员所接受。我们利用解析和数值模拟的方法对色散管理波分复用系统,集总周期放大链路中交叉相位调制不稳定性进行了分析研究,解析研究得出了不稳定性增益的表达式,数值研究中,利用分裂步长傅里叶变换法,得出了噪声谱分布情况。研究表明,解析研究得出当路径平均色散系数表现为反常色散时,色散管理波分复用系统集总周期放大链路中存在多阶边带,数值模拟显示噪声谱中同样存在多阶边带,当路径平均色散系数表现为正常色散时,色散管理波分复用系统集总周期放大链路中,解析研究表明只存在最低阶边带,数值模拟显示噪声谱中最低阶边带噪声谱功率最强,这是具有交叉相位调制色散管理情形下所特有的情形。与我们以前的工作比较^[8,9],以前只研究波分复用传统孤子传输系统的调制不稳定性,本工作主要对色散管理系统交叉相位调制情形下边带不稳定性进行分析研究。而与 Kaewplung 等人^[16]研究相比,我们考虑了系统的交叉相位调制效应,在路径平均色散系数表现为反常色散和正常色散的时候,边带不稳定性所表现出来的特性完全不一样,这是由于正常色散情况,相位匹配的条件难于满足。

- [1] Agrawal Govind P 2002 *Fiber-optic communication systems* (New York: Wiley)
- [2] Fatome J, Pitois S, Tchofo-Dinda P, Erasme D, Millot G 2006 *Opt. Comm.* **260** 548
- [3] Hasegawa Akira 2000 *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **6** 1161
- [4] Li Q L, Li Q S, Lin L B 2006 *Chin. Phys.* **15** 2306
- [5] Li H, Wang T J, Huang D X 2004 *Chin. Phys.* **13** 1033
- [6] Pelinovsky D E, Zharnitsky V 2003 *SIAP* **63** 745
- [7] Zharnitsky V, Grenier E, Jones C K R T, Turysin S K 2001 *Phys. D* **152** 794
- [8] Lakoba T I, Yang J, Kaup D J, Malomed B A 1998 *Opt. Comm.* **149** 366
- [9] Pincemin E, Grot D, Borsier C, Ania-Castanon J D et al 2004 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **16** 2362
- [10] Li Q L, Zhu H D, Tang X H, Li C J, Wang X J, Lin L B 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 4194 (in Chinese) [李齐良、朱海东、唐向宏、李承家、王小军、林理彬 2004 物理学报 **53** 4194]
- [11] Li Q L, Zhu H D, Li Y M, Tang X H, Lin L B 2005 *Acta Phys.*

- Sin.* **54** 2686 (in Chinese) [李齐良、朱海东、李院民、唐向宏、林理彬 2005 物理学报 **54** 2686]
- [12] Liu R H, Cai X J, Yang L, Zhang Z X, Bi J J 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 3140 (in Chinese) [刘仁红、蔡希洁、杨琳、张志祥、毕纪军 2005 物理学报 **54** 3140]
- [13] Peng R W, Fan D Y 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 2680 (in Chinese) [彭润伍、范滇元 2005 物理学报 **54** 2680]
- [14] Peccianti M, Conti C, Assanto G 2003 *Phys. Rev. E* **68** 025602
- [15] Rao M, Sun X H, Zhang M D 2003 *Chin. Phys.* **12** 502
- [16] Kaewplung P, Angkaew T K K 2002 *J. Lightwave Technol.* **20** 1895
- [17] Meier J, Stegeman G I, Christodoulides D N, Silberberg Y, Morandotti R, Yang H, Salamo G 2004 *Phys. Rev. Lett.* **92** 163902
- [18] Tai K, Hasegawa A, Tomita A 1986 *Phys. Rev. Lett.* **56** 135
- [19] Iwanow R, Stegeman G, Schiek R, Min Y, Sohler W 2005 *Opt. Expr.* **13** 7794

Theoretical analysis of cross-phase modulational sideband instability in wavelength-division multiplexed system with periodic dispersion managed fiber links

Li Qi-Liang¹⁾ Sun Li-Li¹⁾ Chen Jun-Lang¹⁾ Li Qing-Shan¹⁾
Tang Xiang-Hong¹⁾ Qian Sheng¹⁾ Lin Li-Bin²⁾

1) (*Optical Fiber Communication Laboratory, Institute of Communication and Information System, School of Communication, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China*)

2) (*Institute of Physics Science of Technology, Sichuan University, Chengdu 610064, China*)

(Received 18 May 2006 ; revised manuscript received 8 September 2006)

Abstract

Dispersion management is a technology that alternately and periodically uses fibers with opposite dispersion sign in wavelength-division multiplexing link, thus the path averaged dispersion coefficient over each period is close to zero. This paper studies the cross-phase modulational sideband instability in chain of periodic dispersion managed and lumped amplified fiber link. Analytisis and numerical simulation are applied to show that there are multi-sidebands in the dispersion managed fiber link if the path averaged dispersion exhibits the abnormal dispersion, while there is only the lowest order if the path averaged dispersion exhibits the normal dispersion. The results of analytical and numerical simulation methods are consistent.

Keywords : dispersion management, wavelength-division multiplexing, sideband instability

PACC : 4225B, 4281D