

频率响应法测量光强度调制器啁啾参数*

王安斌 伍 剑 张 帆 林金桐

(北京邮电大学光通信中心, 北京 100876)

摘要: 描述一种利用光纤频率响应法测量光强度调制器啁啾参数的方法. 通过利用网络分析仪测量光强度调制器(电吸收调制器和马赫-曾德尔型铌酸锂调制器)经过光纤后的频率响应特性, 从而间接测量啁啾参数. 实验结果与理论相吻合.

关键词: 频率响应法; 光强度调制器; 啁啾参数

PACC: 4230L; 4280K; 4281C

中图分类号: TN 761

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2003)01-0072-04

1 引言

在高速光纤通信系统中, 调制器的啁啾对光脉冲在光纤中的传输有重要的影响, 因此对调制器啁啾参数进行测量是十分必要的. 目前关于啁啾参数测量的方法大多数是间接的, 例如通过 Kramers-Kronig 关系, 从不同的吸收谱可以得到电吸收调制器的啁啾参数^[1]. 但是啁啾对于强度调制来说是本身固有的, 应该可以从发射机的特性直接测量得到. 通过测量啁啾光脉冲的边带与载波信号的比例的方法测啁啾是一个直接测量的方法. 这种方法适用于大多数外调制器^[2]和直接调制激光器^[3,4], 但是, 这种方法不能给出啁啾参数的具体信息. 另一种直接测量的方法是测量脉冲在光纤传输中的展宽量^[5], 啁啾参数可以通过时域测量得到. 这种方法的主要缺点是需要许多不同长度的光纤来测量. Devaux 等人^[6]提出了一种测量低啁啾参数($-10 < \alpha < 10$)的方法. 这种方法较其它方法更具有简单、快速、准确的特点, 已广为人们采用. 本文对这种方法进行了理论描述和实验验证. 该方法是在小信号调制的情况下, 从网络分析仪上观察由于边带信号与载波信号相干涉而产生谐振频率峰, 从这些谐振频率峰可以得到准确、可重复测量的啁啾参数值. 这种方法有利

于对目前常用的基于光强度调制器的光发射机进行综合评价.

2 实验原理

根据参考文献[6]中的实验原理可知, 经过光强度调制器调制后出射光脉冲的相位随光强而变化, 其复振幅可以表达为:

$$E = \sqrt{I} e^{j\phi(I)} \quad (1)$$

其中 I 是光强度; $\phi(I)$ 是与光强有关的位相.

对电吸收型、直接耦合器型、马赫-曾德尔型等调制器, 文献[7]给出了啁啾参数 α 与位相及光强度变化的关系:

$$\delta\phi = \frac{\alpha\delta I}{2I} \quad (2)$$

在此情况下, 可令:

$$I = I_0(1 + m\cos(2\pi f t)) \quad m \ll 1 \quad (3)$$

其中 m 是调制深度; f 是调制频率.

相应光波的电场是时间的周期函数, 可以写成傅立叶级数形式如下:

$$E = e^{j\omega_0 t} \sum_{-\infty < p < \infty} A_p e^{j2\pi p f t} \quad (4)$$

其中 ω_0 是光波频率. 公式(1)也可以由公式(2)、(3)展成傅里叶级数形式. 将 E 展成 m 阶序列, 前三项的傅里叶系数(取 m 的阶数为 0、1)为:

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 60072035)

王安斌 男, 1972 年出生, 主要研究 EAM 在高速光纤通信系统中的应用.

2002-03-08 收到, 2002-07-16 定稿

$$\begin{aligned}
 A_{-1} &= \sqrt{I_0 m} \frac{1+j\alpha}{4} \\
 A_0 &= \sqrt{I_0} \\
 A_{+1} &= \sqrt{I_0 m} \frac{1-j\alpha}{4}
 \end{aligned} \quad (5)$$

每个谱分量在色散介质中以不同的群速度传播, 传播常数为:

$$\beta_{\pm p} = \beta_0 \pm \frac{2\pi p f}{\gamma_g} - \frac{\pi \lambda^2 D p^2 f^2}{c} \quad (6)$$

其中 γ_g 是群速度. 经过色散介质后, 光波的复振幅为:

$$E = e^{j\omega_0 t} \sum_{-\infty < p < \infty} A_p e^{j(2\pi p f t - \beta_p L)} \quad (7)$$

其中 L 为光纤长度; D 为色散参量, 这里没有考虑光纤损耗的影响. 在电频谱频率 f 处的强度为:

$$I_f = \frac{1}{2} \text{Re} \left[\sum_{p+q=1} A_p A_q^* e^{j(\beta_q - \beta_p)L} \right] \quad (8)$$

将公式(5)、(6)代入公式(8)可得:

$$I_f = I_0 m \sqrt{1 + \alpha^2} \left| \cos \left[\frac{\pi \lambda^2 D L f^2}{c} + \arctan \alpha \right] \right| \quad (9)$$

当 $\frac{\pi \lambda^2 D L f^2}{c} + \arctan \alpha = \mu \pi = 0, 1, 2 \dots$

I_f 存在极大值, 即为谐振峰, 其中谐振频率 f_u 相对于公式(9)的 u 阶极大值点, 它们遵循下面一个简单的规律:

$$f_u^2 L = \frac{c}{2D\lambda^2} \left[1 + 2u - \frac{2}{\pi} \arctan \alpha \right] \quad (10)$$

根据 f_u^2 和 u 可以得出二者关系曲线, 此曲线为直线, 由此直线的截距可以求得啁啾参数 α . 当 $u = 0$ 时,

$$\alpha = \tan \left[\frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{2f_0^2 L D \lambda^2}{c} \right) \right] \quad (11)$$

根据文献[5], 此种方法可以测得准确的啁啾参数 α 的范围在 $+10 \sim -10$ 之间.

同时由(11)式可得:

$$D = \frac{c}{2f_u^2 L \lambda^2} \left[1 - \frac{2}{\pi} \arctan \alpha \right] \quad (12)$$

在其它参量已知的情况下, 由此公式可以得到色散参量.

3 实验装置

实验装置如图1所示, 其中网络分析仪为 HP8703 型, 频宽为 0.13~20GHz, 扫频信号功率设

置为 5dBm, 强度调制激光发射机是由激光器和外调制器组成, 外调制器是电吸收调制器或马赫-曾德

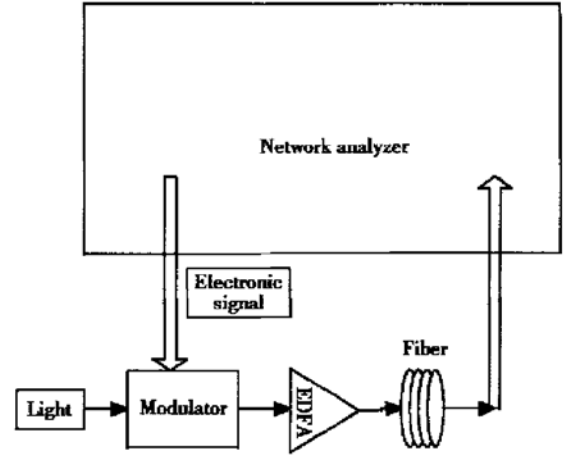


图1 啁啾参数测量装置

Fig. 1 Experimental setup used to measure the chirp parameter

尔型铌酸锂调制器. 电吸收调制器的 3dB 带宽为 12GHz, 工作波长为 1550nm; 马赫-曾德尔型铌酸锂调制器的 3dB 带宽大于 10GHz, 工作波长为 1530~1565nm; 单模光纤长度为 75km, 零色散点在 1310、1550nm 处色散常数是 17ps/(nm·km). 为消除发射机和接收机频率响应的影响, 首先记录无光纤时的频响曲线作为参考曲线, 随后所有的经 75km 单模光纤传输后的频率响应曲线除以参考曲线, 即得到所要测量的频响曲线. 典型曲线结果如图2所示, 当电吸收调制器的偏置电压为 -1V 时, 按上述方法测量的频响曲线, 可以观察到 4 个共振峰.

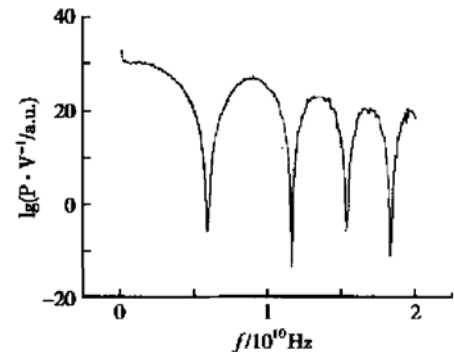


图2 经 75km 光纤传输后, 电吸收调制器的频响曲线 偏置电压为 -1V.

Fig. 2 Frequency response of an EAM (1V reverse bias, after 75km standard fiber, $\lambda = 1550\mu\text{m}$)

4 实验结果

根据如上所述方法, 测量偏置电压分别为 0.43、0、-1、-2、-3、-4、-5V 时 EAM 频响曲线. 由测量数据可得 f_u^2-u 曲线, 如图 3 所示. 每条曲线均是直线, 与 (10) 式是吻合的, 因此可以根据 (10) 式求得啁啾参数.

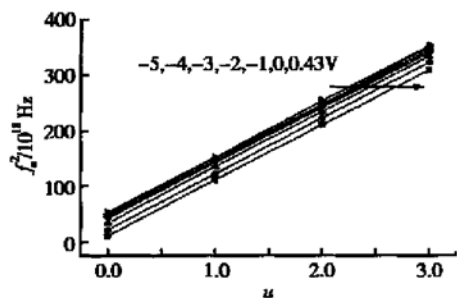


图 3 谐振频率的平方与谐振阶数的关系曲线

Fig. 3 Resonance frequency square (f_u^2) as function of the order of the resonance (u)

当 $u=0$ 时, 根据 (11) 式测量的电吸收调制器的啁啾参数与反向偏置电压的关系曲线如图 4 所示. 可知电吸收调制器的啁啾参数随反向偏置电压的增加而减小, 这与文献 [8, 9] 的结果类似.

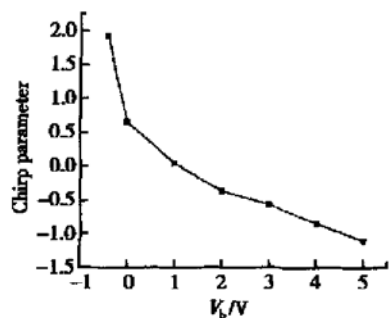


图 4 电吸收调制器的啁啾参数与反向偏置电压的测量曲线

Fig. 4 Chirp parameter of EAM as function of DC reverse bias

同理, 测量的马赫-曾德尔型铌酸锂调制器的啁啾参数与偏置电压的周期性变化关系如图 5 所示. 这是由马赫-曾德尔型铌酸锂调制器周期性的传输函数决定的, 其测试结果与文献 [10] 的规律基本相符. 这两种调制器的啁啾参数体现了其传输函数的特性, 尤其是马赫-曾德尔型铌酸锂调制器.

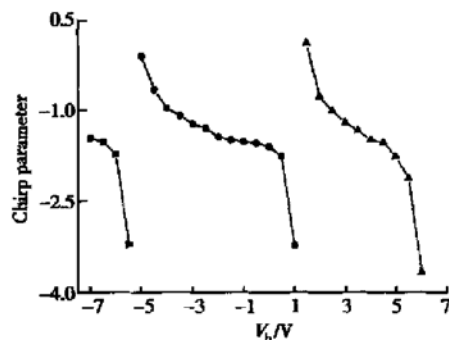


图 5 马赫-曾德尔型铌酸锂调制器的啁啾参数与偏置电压的测量曲线

Fig. 5 Chirp parameter of Mach-Zehnder LiNbO₃ modulator as function of DC bias

由 (12) 式可知, 在强度调制器啁啾参数已知的情况下, 可以测量得到光纤的平均色散参量值. 当偏置电压为 3V 时, 马赫-曾德尔型铌酸锂调制器的啁啾参数 $\alpha = -1.21$. 在此偏置电压下, 光纤长度为 80km 时, 测量其频率响应曲线, 根据 (12) 式计算可得此单模光纤的色散参量为 16.95ps, 误差在 0.1ps 之内. 因此, 可根据已知啁啾参数值测量光纤的平均色散参量值.

5 结论

通过测量强度调制器(电吸收型调制器和马赫-曾德尔型铌酸锂调制器)的啁啾参数, 来测量光纤的平均色散参量值, 均取得了良好的测量结果, 说明此种测量方法是准确、可行的.

致谢 感谢深圳飞通光电股份有限公司提供奖学金.

参考文献

- [1] Weiner J, Miller D A B, Chemla D S. Quadratic electro-optic effect due to the quantum-confined stark effect in quantum wells. Appl Phys Lett, 1987, 50: 842
- [2] Yang Xiaohong, Du yun, Yin Aimin, et al. Ridge waveguide electro-optic polymer modulator with a new kind of coronal poled crosslinkable polyurethane. Chinese Journal of Semiconductors, 2001, 22: 130
- [3] Suzuki M, Noda Y, Kushino Y, et al. Dynamic spectral width of an InGaAsP/InP electroabsorption light modulator under high-frequency large-signal modulator. Electron Lett, 1986,

- 22: 312
- [4] Harder C, Vakals K, Yariv A. Measurement of the linewidth enhancement factor α of semiconductor laser. *Appl Phys Lett*, 1983, 42: 328
- [5] Koyoma F, Suematsu Y. Analysis of dynamic spectral width of dynamic-single-mode fibers. *IEEE J Quantum Electron*, 1985, QE-21: 292
- [6] Devaux F, Sorel Y, Kerdiles J F. Simple measurement of fiber dispersion and of chirp parameter of intensity modulated light emitter. *J Lightwave Technol*, 1993, 11(12): 1937
- [7] Koyoma F, Iga K. Frequency chirping in external modulators. *J Lightwave Technol*, 1988, 6(1): 87
- [8] Ishizaka M, Yamaguchi M, Shimizu J, et al. The transmission capability of a 10-Gb/s electroabsorption modulator integrated DFB laser using the offset bias chirp reduction technique. *IEEE Photonics Technol Lett*, 1997, 9: 1628
- [9] Polo V, Marti J, et al. Mitigation of chromatic dispersion effects employing electroabsorption modulator-based transmitters. *IEEE Photonics Technol Lett*, 1999, 11: 883
- [10] Schiess M, Carlden H. Evaluation of the chirp parameter of a Mach-Zehnder intensity modulator. *Electron Lett*, 1994, 30(18): 1524

Measurement of Chirp Parameter of Intensity Modulator by Fiber Frequency Response Method^{*}

Wang Anbin, Wu Jian, Zhang Fan and Lin Jintong

(*Optical Communication Center, Beijing University of Post and Telecommunication, Beijing 100876, China*)

Abstract: Fiber frequency response method to measure chirp parameter of intensity modulator is described. After transmission over fiber, frequency response of intensity modulator (electroabsorption modulator and Mach-Zehnder modulator) is measured by network analyzer and chirp parameter of tested device can be calculated correctly. Experimental results agree well with theoretical results.

Key words: fiber frequency response method; intensity modulator; chirp parameter

PACC: 4230L; 4280K; 4281C

Article ID: 0253-4177(2003)01-0072-04

^{*} Project supported by National Natural Science Foundation of China (No. 60072035)

Wang Anbin male, was born in 1972. His research is in the application of EAM in high-speed fiber communication.

Received 8 March 2002, revised manuscript received 16 July 2002

©2003 The Chinese Institute of Electronics