

文章编号: 0258-7025(2001)05-0439-04

调相法抑制光纤 CATV 中受激布里渊散射 的实验研究*

杨建良¹ 郭照南² 查开德³

(¹湘潭大学电子工程系 湘潭 411105; ²湘潭机电专科学校 湘潭 411101; ³清华大学电子工程系 北京 100084)

提要 对光纤 AM-CATV 外调制传输系统中附加相位调制法抑制受激布里渊散射(SBS)进行了详细的实验研究,结果显示 SBS 抑制效果与调相源个数及相位调制深度有关,与调相源频率无关;单个调相源可将 SBS 阈值提高到 13 dBm 以上,而两个调相源可将系统 SBS 阈值提高到 18 dBm 以上,相位调制对系统的非线性特性无影响。

关键词 光纤 CATV 外调制发射机,受激布里渊散射,相位调制法

中图分类号 O 437.2 文献标识码 A

Experimental Study of Phase Modulation for SBS Suppression in Optical Fiber CATV System

YANG Jian-liang¹ GUO Zhao-nan² ZHA Kai-de³

(¹Department Electronic Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105
²Xiangtan Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Xiangtan 411101
³Department Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract The detail experimental study of phase modulation for Stimulated Brillouin Scattering(SBS) suppression in optical fiber AM-CATV externally modulated transmitter is presented in this paper. The experimental data show that the improvement of SBS threshold is dependent of the number of SBS suppression source and the phase modulation index, and independent of the frequency of SBS suppression signal. The experiments also show that single signal phase modulation can improve the SBS threshold to 13 dBm and two signal phase modulation can improves the SBS threshold to 18 dBm or above. It is also demonstrated in this paper that the phase modulation has no influence on the nonlinearity in optical fiber AM-CATV externally modulated transmission system.

Key words optical fiber CATV externally modulated transmitter, SBS, phase modulation

1 引 言

光纤中有许多非线性效应,如受激布里渊散射(SBS)、受激拉曼散射、四波混频、自相位调制、交叉相位调制等^[1]。由于单模光纤的本征 SBS 阈值较低,因而最易于发生。特别是在外调制式光纤 AM-CATV 系统中,一般要采用 Nd:YAG 光源或 DFB + EDFA 结构,其光纤注入功率都要大于单模光纤的本征 SBS 阈值功率。SBS 将发射进入光纤的光信号部分转化为后向散射光进入光源,使激光振荡不稳定,并造成激光器的相对强度噪声(RIN)恶化。同

时,SBS 使接收端得不到预期的接收光功率,造成光链路“损耗”增加,使系统载噪比指标下降,因而 SBS 的抑制便成为外调制走向实用化的关键技术之一^[2,3]。抑制 SBS 技术目前有激光器高频抖动法与单信号相位调制等^[2],激光器高频抖动将会引起附加幅度调制、激光器频率啁啾、附加色散效应等一系列问题。而现有报道中单信号相位调制对 SBS 阈值的提高量十分有限,只有 5 dB 左右^[4-6]。不能单独用于实用化的光纤 CATV 发射机中^[2]。本文提出双信号调相抑制 SBS 的方法,并进行了详细的实验研究,结果显示双信号调相可在不显著增加调相源功率情况下,将系统 SBS 阈值提高到 18 dBm 以上,完全满足 CATV 发射机的 SBS 性能要求;且相位调制对系统的非线性特性无明显影响。

* 博士后科研基金与华为科技基金资助项目。

2 附加相位调制抑制 SBS 的实验研究

光纤 CATV 外调制传输实验系统装置简图见图 1,主要由 DFB 光源, BBI 外调制器, 预失真与射频驱动电路, 相位调制器与功率可调的 SBS 抑制源(1.8 GHz 3.6 GHz), EDFA, 50 km 长单模光纤传输链路, 光接收机, 功率计及 CATV 分析仪等组成。图 1 实验系统中, 光源采用 Alcatel 公司的分布反馈布拉格(DFB)激光器 A1905LMP, 出纤功率可达 14 dBm 以上, JTP 公司生产的相位调制器与 BBI 外调制器集

成为一体, 其中相位调制器半波电压 $V_\pi = 7.8 \text{ V}$, 其输入交流信号功率可达 800 mW 以上, 为对光载波进行大的相位调制提供了可能。EDFA 输出可达 22 dBm。SBS 抑制源(相位调制信号)的频率采用 1.8 GHz 与 3.6 GHz。理论分析表明^[7] 如要使相位调制引起附加色散导致的非线性失真小到可忽略的程度, 单频相位调制信号其频率至少是 CATV 频带的最大频率(一般为 550 MHz 或 750 MHz)的两倍以上, 而对于多信号频率相位调制, 两相邻频率之间同样也必须大于两倍 CATV 频带的最大频率。

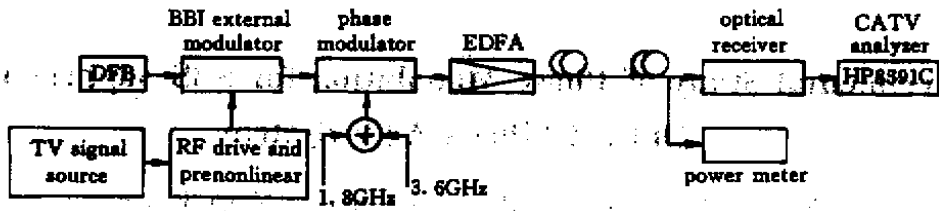


图 1 光纤 AM-CATV 外调制传输实验系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of optical fiber AM-CATV external modulation transmission experiment system

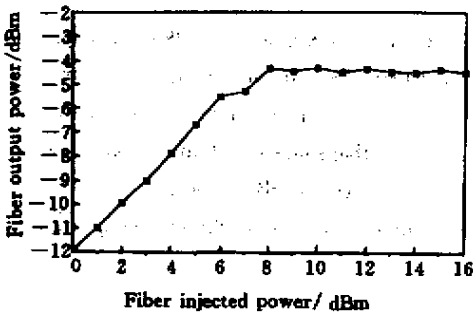


图 2 光纤中的 SBS 现象

Fig.2 Stimulated Brillouin Scattering in optical fiber

图 2 为在不加 SBS 抑制源的情况下 50 km 长单模光纤的输出光功率与注入光功率的变化曲线。在输入光功率较小时, 随注入光功率增加, 输出光功率线性地增加, 此时输入与输出光功率之差(11.85 dB)为 50 km 长光纤损耗, 而当注入光功率达 7 dBm 以上时, 即使输入光功率再增加, 光纤输出光功率也将基本维持在一稳定值而不增加。此时输入端增加的光功率由于 SBS 的发生而变为频率下移(约 10 GHz)的反向散射光反向传输进掺铒光纤放大器(EDFA), 并被 EDFA 输出端的隔离器吸收掉。因此, 图 1 实验系统中 50 km 长单模光纤传输链路的 SBS 阈值大约为 7 dBm。

相位调制法即在正常的强度调制器前或后(本文相位调制器串接在强度调制器后)对传输光引入

附加相位调制, 将光信号能量分布到大量的光载波上, 降低光功率谱能量密度, 从而提高 SBS 的阈值。在图 1 所示相位调制法上输入 N 个高频相位调制信号 $\varphi(t) = V_1 \sin \Omega_1 t + V_2 \sin \Omega_2 t + \dots + V_N \sin \Omega_N t$, 其中 V_1, V_2, \dots, V_N 分别为 N 个调制信号的幅度, $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_N$ 分别为 N 个调制信号频率, 则光载波的相位变化为 $\Delta\phi = \pi \cdot \frac{V_1 \sin \Omega_1 t + V_2 \sin \Omega_2 t}{V_\pi}$, 其中 V_π 为调制器半波电压。理论计算可得到 N 个相位调制信号对 SBS 阈值的提高量为^[7]

$$\Delta P_{th} = -10 \sum_{j=1}^N \log \left[\max \left\{ J_j(\beta_j) \right\} \right], \quad (1)$$

$$J_j = \{-\infty, \dots, 0, \dots, +\infty\}$$

式中 $J_j(\beta_j)$ 是以 β_j 为参数的 l_j 阶第一类贝塞尔函数。 β_j 为第 j 个调制信号对光载波的相位调制度^[4]

$$\beta_j = \pi \frac{V_j}{V_\pi} \quad (2)$$

(1) 式表明 SBS 阈值提高量与相位调制信号的个数和幅度(也即其对光载波的相位调制度)有关, 与调制信号频率无关。如假设 N 个相位调制信号的幅度相同, 也即 N 个相位调制信号对光载波的相位调制度相同, 由 (1) 式可知 SBS 阈值提高量是单频相位调制的 N 倍。

图 3 为采用一个相位调制信号时, 系统 SBS 阈值 P_{th} 随调制信号对光载波的相位调制度 β 变化的实验值, 图中同时给出了按式 (1) 计算的理论值(N

= 1), 结果显示实验与理论分析符合较好。单个相位调制信号的正 SRS 阈值测量方法与图 2 的测量基本相同。实验中, 1.8 GHz 与 3.6 GHz 的正 SRS 抑制源分别单独加在图 1 所示相位调制器上, 在一给定相位调制度(即给定调相信号功率)处, 逐渐增加传输光纤输入端光功率, 同时监测输出端光功率与载噪比(CNR: Carrier Noise Ratio) 复合二次失真(CSO: Composite Second Order distortion)与复合三次差拍失真(CTB: Composite Triple Beat distortion)等指标, 当输出光功率不再随输入的增加而增加, 且此时输出端测量得到的各项指标满足系统要求(CNR > 55 dB, CSO < -65 dB, CTB < -60 dB)^[2], 该输入光功率值就是这一给定相位调制度时的 SRS 阈值。图 3 实验数据显示 (1) 1.8 GHz 与 3.6 GHz 两个抑制源在其相位调制度相同的情况下对 SRS 阈值的提高基本相同, 即 SRS 阈值的提高与相位调制度有关, 与调制信号的频率基本无关 (2) 理论分析与实验均显示 SRS 阈值的提高与相位调制度并不成正比, 在某些区域, 随着相位调制度的增加, SRS 阈值反而下降, 其原因在于当附加相位调制改变传输光的光谱宽度与光功率密度时, 其光谱宽度内每一单位光谱内的能量并不相等, 它们也不是随相位调制度增加(即光谱宽度变宽)而一致下降, 其变化非常复杂, 有时随相位调制度增加某一光谱单位内的能量反而增加, 而 SRS 阈值只与最大能量分量有关, 因而会出现相位调制度增加, SRS 阈值反而降低的情况。因此在选择 SRS 抑制源的相位调制度时, 一定要避开下降区域 (3) 在较小的相位调制度($\beta = 1.4$, SRS 阈值提高量的第 1 个峰值), 单信号调相可使系统 SRS 阈值提高到 12dBm 以上, 增加调相度(SRS 阈值提高量的第 2 个峰值以上)可达 13 ~ 14 dBm。

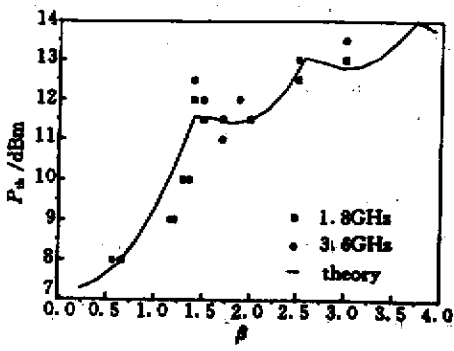


图 3 单频信号相位调制对 SRS 阈值的影响
Fig.3 Influence of single phase modulation on SRS threshold

图 4 为采用 1.8 GHz 与 3.6 GHz 双频相位调制信号时, 系统 SRS 阈值 P_{th} 随相位调制度 β 变化的实验值。在进行双频相位调制信号的正 SRS 抑制实验时, 1.8 GHz 与 3.6 GHz 的正 SRS 抑制源经功率合成器同时加在图 1 所示相位调制器上, 且在调节两 SRS 抑制源的输出电压(功率)时保证两相位调制度时时相同。其他则与单频率信号调相的要求一致。图 4 实验数据显示: (1) 与理论分析基本一致, 双频相位调制在相位调制度相同的情况下对 SRS 阈值的提高量基本上是单频率调相信号的两倍 (2) 双频相位调制也存在 SRS 阈值下降区域, 且其下降的幅度较单频率调相时大, 因此更要注意 SRS 抑制源的相位调制度的选择 (3) 在较小的相位调制度($\beta = 1.4$, SRS 阈值提高量的第 1 个峰值), 双频相位调制可使系统 SRS 阈值提高到 16 dBm 以上。

从图 3 理论曲线可见当相位调制度 $\beta = 2.6$ (SRS 阈值提高量的第 2 个峰值), 单频调相 SRS 阈值提高 6 dB, 达 13 dBm, 双频调相为单频调相的两倍, 提高 12 dB, 达 19 dBm, 但由(2)式计算此时单个 SRS 抑制源输出功率 417 mW, 两个源输出功率将达 800 mW 以上, 超过相位调制器极限输入功率。在双频相位调制情况下, 如选取一相位调制度为第 1 峰值处 $\beta = 1.4$, 另一相位调制度为第 2 峰值处 $\beta = 2.6$, 此时两 SRS 抑制源输出功率分别为 120 mW 与 417 mW, 相加后为 537 mW, 远低于相位调制器极限输入功率。但 SRS 阈值提高了 5 + 6 dB, 达 18 dBm。而 537 mW 的功率对于单个 SRS 抑制源, 相当于相位调制度 $\beta = 2.95$, 由图 3 理论曲线可知此时处于第二个下降区, SRS 阈值提高不到 6 dB, 小于 13 dBm。从此处分析可见只要巧妙安排各个信号的相位调制度, 在相同的信号功率时, 双频率(或多频率)信号相位调制方案对于 SRS 的抑制效果可以远好于单频相位调制方案, 这就是双频率(或多频率)信号相位调制方案的优势所在。我们也试验了双频相位调制中两 SRS 抑制源的输出电压(功率)不同即两相位调制度不相同的情况, 试验中 1.8 GHz 抑制源相位调制度为 $\beta_1 = 1.4$, 3.6 GHz 抑制源相位调制度为 $\beta_2 = 2.6$, 在光纤注入功率达 18 dBm 时没有 SRS 现象发生。再稍加大相位调制度进入了下降区, SRS 阈值反而下降, 而继续加大相位调制度将超过相位调制器极限输入功率, 因此没有继续实验。

为检测附加相位调制对系统其他性能的影响, 在上面试验中均对系统非线性特性进行监测, 结果如图 5, 射频信号频段 50 ~ 550 MHz, 每路调制度

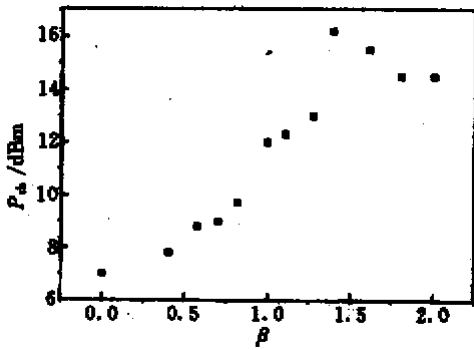


图4 双频信号相位调制对 SBS 阈值的影响

Fig.4 Influence of double phase modulation on SBS threshold

3.6%。从测试结果可见,系统CSO和CTB指标均

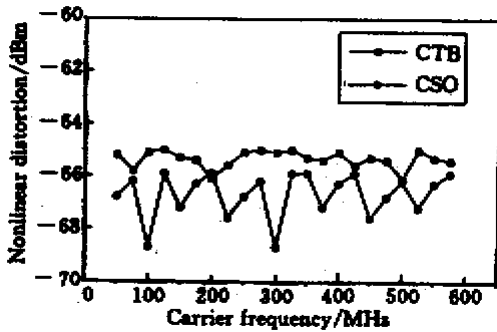


图5 系统非线性测试结果曲线

Fig.5 Nonlinear testing results of AM-CATV system

在 -65 dB 左右或小于 -65 dB,达到 CATV 传输系统的要求。

3 结论

本文对附加相位调制抑制 SBS 进行了详细的实验研究,实验结果表明:SBS 抑制效果与调相源个数及相位调制深度有关,与调相源频率无关;采用单个调相源时,可将系统 SBS 阈值提高到 13 dBm 以上,而采用两个调相源时可将系统 SBS 阈值提高到 18 dBm 以上,对系统的 CSO 与 CTB 的测试显示附加相位调制对系统的非线性特性无明显影响。

参考文献

- 1 X. P. Mao, G. E. Bodeep, R. W. Tkach *et al.*. Brillouin scattering in externally modulated lightwave AM-VSB CATV transmission systems. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1992, 4 (3) 287 ~ 289
- 2 Jiang Hongtao. Study on optical fiber AM-CATV externally modulated transmission technology. Ph. D Thesis of China University of Mining and Technology, 1997. 57 ~ 71 (in Chinese)
- 3 G. C. Wilson, T. H. Wood, J. L. Zyskind *et al.*. SBS and MPI suppression in analogue systems with integrated electroabsorption modulator/DFB laser transmitters. *Electron. Lett.*, 1996, 32(16):1502 ~ 1504
- 4 F. W. Willems, W. Muys, J. S. Leong. Simultaneous suppression of stimulated Brillouin scattering and interferometric noise in externally modulated lightwave AM-SCM systems. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1994, 6(12):1476 ~ 1478
- 5 T. Iwai, K. Sato. Dispersion-induced distortion in AM-SCM transmission systems employing linearised MQW-EA modulator. *Electron. Lett.*, 1995, 31(15):1272 ~ 1273
- 6 F. W. Willems, J. C. van der Plaats, W. Muys. Harmonic distortion caused by stimulated Brillouin scattering suppression in externally modulated lightwave AM CATV systems. *Electron. Lett.*, 1994, 30(4):343 ~ 345
- 7 Yang Jianliang, Zha Kaide. The SBS and control in optical fiber AM-CATV external modulation transmission system. *China Cable Television (中国有线电视)*, 1999, 7(5):6 ~ 9 (in Chinese)