

抽运方式对混合拉曼光纤放大器性能的影响*

忻向军 余重秀 任建华 李安俭 吴 强 王传林 郑文潇

(北京邮电大学电子工程学院, 北京 100876)

阮双琛 杜戈果

(深圳大学工程技术学院, 深圳 518060)

杨晓强 辛 港

(北京瞬联软件科技有限公司, 北京 100044)

摘要: 通过实验比较了前向抽运拉曼光纤放大器与掺铒光纤放大器组成的混合放大器、后向抽运拉曼光纤放大器与掺铒光纤放大器组成的混合放大器的性能。实验采用 75 km 标准单模光纤作为增益介质。采用 20 信道(符合 ITU-T 建议的波分复用信号), 波长为 1537.377~1560.605 nm, 作为混合放大器的测试信号。20 信道总功率 -2.86 dBm, 每一信道用 2.5 Gb/s、码长 2^7-1 的非归零码通过电吸收调制器(EA)进行外调制。实验结果表明, 前向抽运方式混合放大器的性能优于后向抽运方式的混合放大器, 其中噪声系数的改善值为 2.28~6.55 dB。采用前向抽运时, 各信道的增益同后向抽运相比, 增加值均大于 5 dB。但不论采取那种抽运方式, 采用混合放大的形式, 各信道的光信噪比均大于 26.9 dB。

关键词: 导波和光纤光学; 拉曼光纤放大器; 掺铒光纤放大器; 混合放大器; 光信噪比

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A

1 引 言

后向抽运拉曼光纤放大器的研究已经非常深入, 并在许多实验系统中得到了应用^[1,2]。通常认为, 由于抽运源的噪声, 后向抽运拉曼光纤放大器的光信噪比(OSNR)优于前向抽运拉曼光纤放大器^[3,4]。前向抽运时, 抽运光同信号光同向传输, 如果二者的传输速度相同, 则抽运源的噪声几乎同时传递给信号。而对于后向抽运方式, 抽运源噪声将因为抽运光与信号光相反的传输方向而被平均。但后向抽运拉曼光纤放大器的增益受限于双向瑞利散射^[5,6], 如果要完全补偿跨度损耗, 同时保持合理的光信噪比, 可行的方式是采用拉曼光纤放大器同掺铒光纤放大器级联组成拉曼光纤放大器/掺铒光纤放大器的混合放大器^[7], 或采用双向抽运拉曼光纤放大器^[8,9]。而前向抽运拉曼光纤放大器同掺铒光纤放大器级联组成的混合放大器的研究却因为前向抽运拉曼光纤放大器较低的信噪比而没有得到足够

重视, 因而发展比较缓慢, 目前还没有见到相关报道。如果不考虑抽运源噪声, 则前向抽运方式导致的信噪比本质上优于后向抽运方式^[10]。因为前向抽运方式使得信号的放大先于衰减, 其结果是对随后放大的自发辐射噪声起到抑止作用^[7]。因此, 如果抽运源能够工作在低噪声下, 并对抽运源模块进行合理设计, 则前向抽运方式将有很好的应用前景。

为此本文从实验上对两种抽运方式的拉曼光纤放大器/掺铒光纤放大器级联组成的混合放大器进行了性能比较和研究。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示。其中拉曼光纤放大器的抽运源采用低噪声大功率半导体激光器, 采用 20 信道, 波长范围为 1537.377~1560.605 nm, 作为混合放大器的输入信号。总功率 -2.86 dBm, 每一信道用 2.5 Gb/s、码长 2^7-1 的非归零码通过电吸收调制器(EA)进行外调制。光纤总长 75 km。光纤损耗为 14.42~16 dB。图 1 的衰减器主要是为了防止掺铒光纤放大器饱和。精心设计的抽运模块结构 Pump module 的基本原理同文献^[9,10], 由 4 个去

* 广东省自然科学基金(011736)资助课题。

E-mail: xinxiangjun@sina.com

收稿日期: 2002-09-13; 收到修改稿日期: 2002-10-25

偏效应的大功率半导体激光器组成。中心波长分别为 1425 nm、1440 nm、1470 nm,通过数值优化算法得到,其中 1470 nm 由两个同波长激光器通过偏振合波器合波获得,另外两个的去偏是通过将一段合适长度的保偏光纤以 45° 同激光器的尾纤(也是保

偏光纤)对接的方式获得。所有的激光器都由相应的控制器进行控制,功率单独可调,每个激光器在抽运模块出口的最大功率可达到 200 mW,实际采用的功率为 1425nm-165 mW、1440 nm-156 mW、1470 nm-120 mW、1470 nm-120 mW。

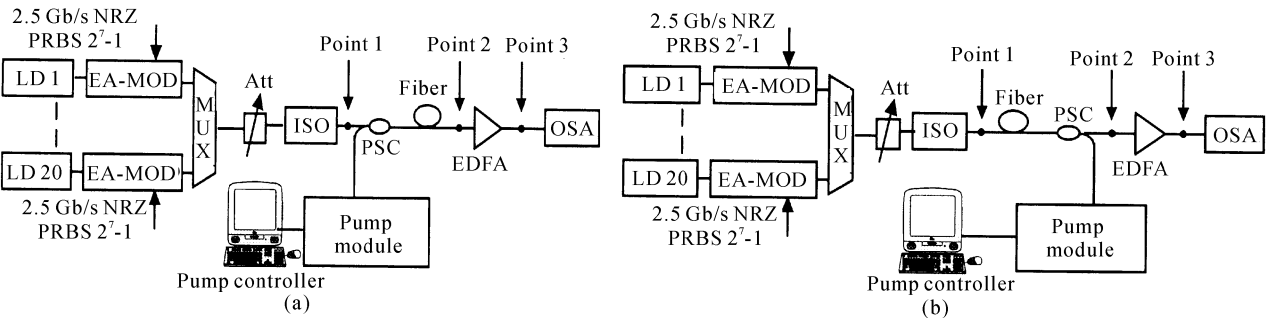


Fig. 1 Experimental configurations of (a) Forward-pumped RFA/EDFA hybrid amplifiers and (b) backward-pumped RFA/EDFA hybrid amplifiers. ISO; isolator; PSC; pump and signal combiner; OSA; optical spectrum analyzer; Att; attenuator; EA-MOD; electro-absorption modulator; PRBS; pseudo-random bit sequence; EDFA; erbium doped fiber amplifier; MUX; multiplexer; NRZ; nonreturn-to-zero

3 实验结果与讨论

掺铒光纤放大器的实测参量见图 2。约 11 dB 的噪声系数不是十分理想,但对本实验影响不大,因为级联放大器的噪声系数关键取决于第一级放大器^[11]。考虑到实验中 75 km 较短的传输线,因而选用小增益掺铒光纤放大器(低于 15 dB)。图 1 中 Point 1、Point 2、Point 3 三点分别对应拉曼光纤放大器的输入、输出及混合放大器的输出。保持 20 信道和抽运配置不变,对三点分别进行测试。

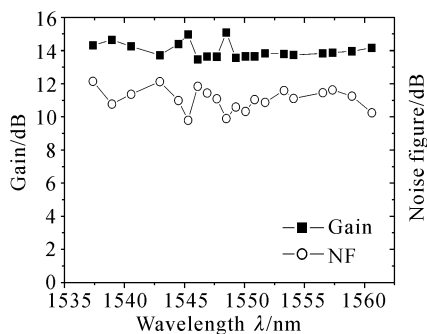


Fig. 2 Noise figure and gain of EDFA

图 3 是实测的光信噪比和噪声系数。图注中的 B 表示后向, F 表示前向, P2 表示点 Point 2, 因此, F-OSNR-P2 表示前向抽运拉曼光纤放大器 Point 2 点的光信噪比, 依此类推。由图可见, 前向抽运方式

的噪声系数和光信噪比明显优于后向。对于 Point 2, 即相应的拉曼光纤放大器的输出, 20 信道噪声系数的改善为 2.28~6.55 dB, 光信噪比的改善为 4.35~6 dB。对于 Point 3, 即混合放大器, 噪声系数的改善值在 1.84~6.04 dB 之间, 光信噪比的改善在 4.05~4.55 dB 之间。导致噪声系数与光信噪比改善有差异的原因在于抽运与信号合波器 PSC 对信号的方向性选择。两种抽运方式混合放大器所取得的光信噪比均大于 26.9 dB。图中 1548.486 nm 信道的光信噪比较低, 这是由发射模块本身所致。拉曼放大器与拉曼光纤放大器/掺铒光纤放大器混合放大器的开关增益示于图 4。对于拉曼放大器, 由图可见, 两种抽运方式的结果几乎相同。但对于混合放大器, 差异明显。同后向抽运方式相比, 前向抽运方式每信道的增益增加都超过 5 dB。其原因在于前向抽运拉曼光纤放大器的抽运光, 特别是波长位于 1480 nm 附近的抽运光(本实验为 1470 nm 抽运光), 对掺铒光纤的远程抽运。从图中还可发现, 后向抽运方式混合放大器的增益波动小于 1.4 dB, 但前向抽运方式导致的增益波动最大为 2.9 dB。原因在于本实验的优化只能针对拉曼光纤放大器, 而对于混合放大器, 由于使用的是商用掺铒光纤放大器, 所以无法进行优化。两种抽运方式的输出信号谱见图 5, 图中未见任何非线性现象。

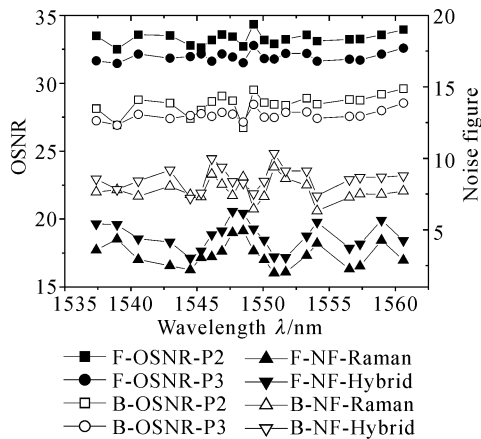


Fig. 3 NF, OSNR of Point 2 and Point 3 in both configurations

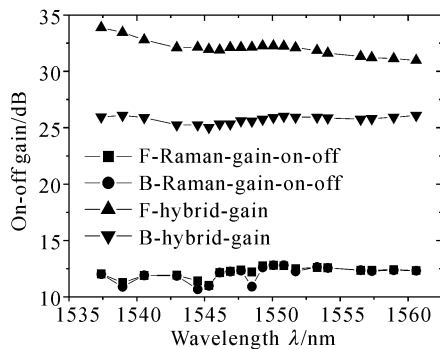


Fig. 4 On-off gain of hybrid amplifier

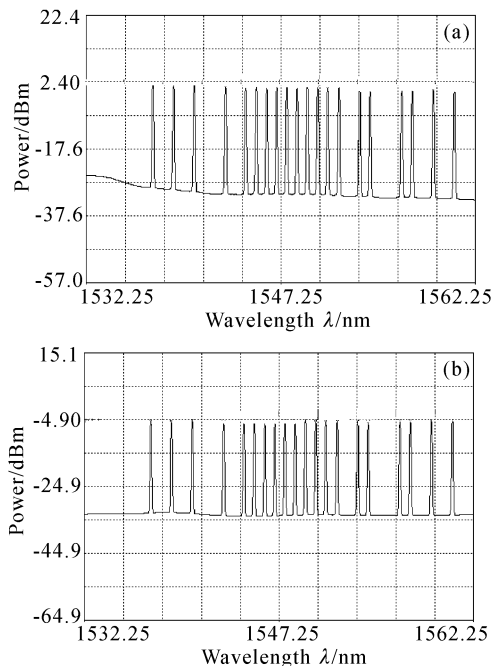


Fig. 5 (a) Output spectrum of forward-pumped RFA/EDFA hybrid amplifiers; (b) Output spectrum of backward-pumped RFA/EDFA hybrid amplifiers

结论 通过实验对前向抽运拉曼光纤放大器、后向抽运拉曼光纤放大器与掺铒光纤放大器级联组成的混合放大器的性能进行了比较。实验采用 75 km 的单模光纤, 20 信道波分复用信号。实验结果表明, 采用低噪声抽运源并对放大器合理设计, 前向抽运方式的性能优于后向抽运方式。其中噪声系数的改善值最小为 2.28 dB, 最大可达 6.55 dB, 光信噪比的改善在 4.05~4.55 dB 之间。所有信道的增益增加均大于 5 dB。两种抽运方式, 各信道的光信噪比均大于 26.9 dB。

参 考 文 献

- Garrett L D, Eiselt M, Tkach R W *et al.*. Field demonstration of distributed Raman amplification with 3.8 dB Q-improvement for 5×120 km transmission. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(2):157~159
- Zhu Y, Lee W S, Scahill C *et al.*. 1.28 Tbit/s (32×40 Gbit/s) transmission over 1000 km NDSF employing distributed Raman amplification and active gain flattening. *Electron. Lett.*, 2001, **37**(1):43~45
- Forghieri F, Tkach R W, Chraplyvy A R. Bandwidth of cross talk in Raman amplifiers. OFC94, San Jose, CA, FC6, 1994
- Jun Shan Wey, Butler D L, van Leeuwen M F *et al.*. Crosstalk bandwidth in backward pumped fiber Raman amplifiers. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(11):1417~1419
- Fludger C R S, Mears R J. Electrical measurements of multipath interference in distributed Raman amplifiers. *J. Lightwave Technol.*, 2001, **19**(4):536~545
- Carena A, Curri V, Poggiolini P. On the optimization of hybrid Raman/erbium-doped fiber amplifiers. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(11):1170~1172
- Kado, Emori Y, Namiki S. Gain and noise tilt control in multi-wavelength bi-directionally pumped Raman amplifier. OFC2002, Tuj4: 62~63, Anaheim, California, 2002
- Zhu Y, Fludger C R S, Lee W S *et al.*. Experimental comparison of all-Raman vs. Raman/EDFA hybrid amplification with 40 Gb/s-based ETDM/DWDM transmissions over 400 km TW-RS fibre. OFC2002, ThX1:552~554, Anaheim, California, 2002
- Takachio N, Suzuki H. Application of Raman-distributed amplification to WDM transmission systems using 1.55 μm dispersion-shifted fiber. *J. Lightwave Technol.*, 2001, **19**(1):60~69
- Jiang Wenning, Chen Jianping, Chen Yingli *et al.*. Suppression of double Rayleigh backscattering noise in optical fiber Raman amplifiers. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(5):539~541 (in Chinese)
- Jia Dongfang, Li Shichen, Song Lijun. Optimized design of fiber Raman amplifiers. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(7):808~811 (in Chinese)

- 12 Zhang Zaixun, Jin Shangzhong, Wang Jifeng *et al.*. Study of 1410 nm wavelength region distributed fiber Raman gain amplifier. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(6):766~768 (in Chinese)
- 13 Agrawal G P. *Nonlinear Fiber Optics*. New York: Academic Press, 1989. 316~362

The Influence of Pumping Configuration in Hybrid Raman Fiber Amplifier on Its Performance

Xin Xiangjun Yu Chongxiu Ren Jianhua Li Anjian Wu Qiang
Wang Chuanlin Zheng Wenxiao

(*Electronic Engineering School, Beijing University of Posts
and Telecommunications, Beijing 100876*)

Ruan Shuangchen Du Geguo

(*College of Engineering and Technology, Shenzhen University, Shengzhen 518060*)

Yang Xiaoqiang Xin Gang

(*Beijing Shunlian Software Science and Technology Co., Ltd., Beijing 100044*)

(Received 13 September 2002; revised 25 October 2002)

Abstract: The performance of forward-and backward-pumped Raman fiber amplifier/erbium doped fiber amplifier (EDFA) hybrid amplifiers was experimentally compared. 75 km standard single mode fiber (SSMF) was employed as the transmission line. 20 channels in C-band with a total power of -2.86 dBm, ranging from 1537.377 to 1560.605 nm on the ITU-T grid were used as the incident signals of hybrid amplifiers. Each channel was modulated by an electro-absorption (EA) modulator using a 2.5 Gb/s nonreturn-to-zero (NRZ) format, with a 2^7-1 long pseudo-random bit sequence (PRBS) signal. Experimental results have suggested some of relative merits of forward-pumped RFA/EDFA hybrid amplifiers. The improvement of noise figure (NF) arranged from 2.24 dB to 6.55 dB. The gain increase was higher than 5 dB for any channel in forward-pumped hybrid amplifiers in comparison with backward-pumped hybrid amplifiers. However, the optical signal-to-noise ratio (OSNR) is higher than 26.9 dB in either pumped configuration for hybrid amplifiers.

Key words: guided wave and fiber optics; Raman fiber amplifier (RFA); erbium-doped fiber amplifier; hybrid amplifiers; optical signal-to-noise ratio