

文章编号: 0258-7025(2003)05-0421-03

测量光纤放大器小信号增益谱的一种简便方法

刘艳格^{1,2}, 张昊¹, 袁树忠¹, 蒙红云¹, 刘志国¹, 田建国², 董孝义¹

(¹南开大学¹ 现代光学研究所,² 物理科学学院, 天津 300071)

摘要 提出了一种用小功率宽带光源较精确测量光纤放大器小信号增益谱的方法。数值模拟表明, 该方法是完全可行的, 并且实验结果与数值模拟结果一致。该方法具有简便、易操作的特点。

关键词 光纤通信技术; 光纤放大器; 宽带光源; 小信号增益谱

中图分类号 TN 929.11 **文献标识码** A

A Simple and Convenient Method of Measuring Small Signal Gain Spectrum of Optical Fiber Amplifier

LIU Yan-ge^{1,2}, ZHANG Hao¹, YUAN Shu-zhong¹, MENG Hong-yun¹,
LIU Zhi-guo¹, TIAN Jian-guo², DONG Xiao-yi¹

(¹Institute of Modern Optics, ²Institute of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract In this paper, a method evaluating small signal gain spectrum of optical fiber amplifier only using a small power broadband light source was proposed. The coincidence between numerical simulation and experimental results shows that the method was feasible and it had the advantage of simpleness, convenience and easy operation.

Key words fiber communication technique; optical fiber amplifier; broadband light source; small signal gain spectrum

1 引言

光纤放大器,特别是掺铒光纤放大器(EDFA)的实用化带来了光纤通信领域的一场革命,成为现代光纤通信以及密集波分复用(DWDM)系统中最关键的组成部分。目前,作为前置放大、功率放大以及线路放大的光纤放大器已被越来越多地应用到光纤通信骨干网络中。在光纤放大器的各项性能参数中,增益是其最基本和最重要的指标之一,如何快速、准确地测试出这个参数将直接影响到光纤放大器的实际应用。

测量光纤放大器的增益谱有多种方法,如:光谱分析法、电谱分析法和光功率计法等^[1,2]。这些方法都需要波长和功率可调谐的光源,并且对光

源的稳定性要求较高。冯健和等提出使用较小功率的宽光谱光源和任意波长的激光器测量掺铒光纤放大器的小信号增益谱^[3],实验发现,该方法确实能较准确地测量出光纤放大器的小信号增益谱,但光路较复杂,并且要求光路中测试用任意波长激光器具有一定的波长和功率稳定性。本文提出只用一个小信号宽带光源即能简便而又较准确地测量出光纤放大器的小信号增益谱,并通过数值模拟对该方法的测试条件和实验结果进行了讨论和验证。

2 测量原理和装置

光纤放大器的增益谱可由下式给出^[4]

$$G(\lambda) = \frac{P_{\text{out}}(\lambda) - P_{\text{ASE}}(\lambda)}{P_{\text{in}}(\lambda)} \quad (1)$$

收稿日期:2002-02-25; 收到修改稿日期:2002-04-25

基金项目:天津市自然科学基金(013800411)资助项目。

作者简介:刘艳格(1973—),女,河北保定人,南开大学博士后,现主要从事光电子器件及光纤通信技术方面的研究。E-mail: ygliu@cyou.com

其中, $P_{ASE}(\lambda)$ 为光纤放大器在波长为 λ 处的自发辐射功率, $P_{out}(\lambda)$ 和 $P_{in}(\lambda)$ 分别是波长为 λ 信号的输出与输入功率。传统光纤放大器的增益谱测量方法是利用高稳定度的可调谐激光器进行波长扫描, 得到对应各波长的输入输出功率, 按(1)式计算得出增益谱。这种方法不但所需的测量仪器价格昂贵, 而且由于采用离散的单波长测量, 其结果的一致性较差, 存在较大的误差^[5]。

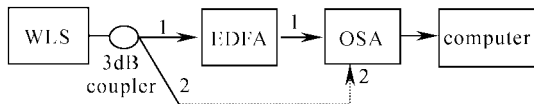


图 1 光纤放大器增益谱测量装置示意图

Fig. 1 Measurement setup of gain spectrum for optical fiber amplifier

实验发现, 可以用如图 1 所示的实验装置来测量光纤放大器的小信号增益谱。从小功率宽带光源 (用 LED 宽带光源) 出来的光经 3 dB 耦合器分成功率相同的两路 1 和 2。光路 2 用来采样宽带光源的功率谱数据; 光路 1 的光经光纤放大器放大, 由光谱仪采样得到从放大器输出的光功率谱数据; 然后, 将各数据输入到计算机中进行计算处理, 最后得到放大器的增益谱。假定光纤放大器的增益谱为 $G(\lambda)$, 输入光纤放大器的宽带光源的功率谱为 $P_{BLS}(\lambda)$, 则经放大后的宽带光源的功率谱为

$$P_1(\lambda) = G(\lambda)P_{BLS}(\lambda) + P_{1ASE}(\lambda) \quad (2)$$

然后, 关掉宽带光源, 再抽样一次从放大器输出的功率谱 $P_2(\lambda)$

$$P_2(\lambda) = P_{2ASE}(\lambda) \quad (3)$$

如果信号输入端宽带光源的光功率足够小, 则有 $P_{1ASE}(\lambda) \approx P_{2ASE}(\lambda)$ 式成立, 这一点会在后面的数值模拟中得到进一步说明和验证。然后, 将(2)与(3)式相减, 即可得到增益谱

$$G(\lambda) = \frac{P_1(\lambda) - P_2(\lambda)}{P_{BLS}(\lambda)} \quad (4)$$

3 数值模拟和实验结果

实验中, 待测放大器是自行研制的用 980 激光器前向抽运的掺铒光纤放大器, 如图 2 所示, 入纤抽运功率约 130 mW, 所用掺铒光纤为朗讯公司生产的 MP980, 铒离子的掺杂浓度为 $8.8 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$, 所用光纤长度为 21.7 m。图 3 为测得的进入放大器的宽带光源 LED 的功率谱 $P_{BLS}(\lambda)$, 图 4 的实线和

虚线分别表示测得的 $P_1(\lambda)$ 和 $P_2(\lambda)$, 这些曲线是在光谱仪上从 1520~1570 nm 每隔 1 nm 共采样 51 个数据然后连线得到的。

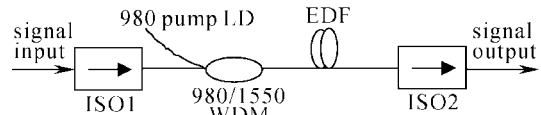


图 2 掺铒光纤放大器示意图

Fig. 2 Schematic setup of Er^{3+} -doped optical fiber amplifier

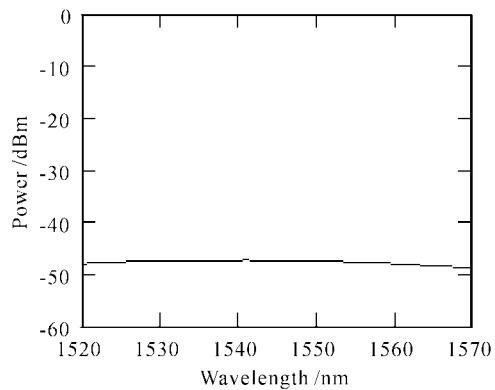


图 3 宽带光源 LED 光谱

Fig. 3 Spectrum of broadband light source LED

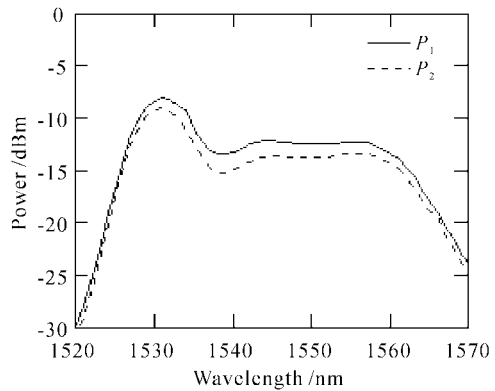


图 4 放大器输出的光谱

Fig. 4 Output spectrum from the EDFA

为了说明问题, 我们利用朗讯公司随所用掺铒光纤提供的光纤放大器设计软件 Oasix3.1 进行了数值模拟分析, 该软件采用 Giles 模型^[6]对掺铒光纤放大器进行模拟计算, 铒光纤的参数设置采用朗讯公司提供的光纤参数文件, 其他参数设置尽可能与实验的实际情况相同。图 5 是取输入信号光功率不同的几种情况下求得的放大器的自发辐射谱, 实线表示的曲线 1 是输入信号功率为 0 mW (无输入

信号)时,即对应前面的 $P_{2\text{ASE}}(\lambda)$ 的计算所得自发辐射谱曲线;曲线 2 是图 3 宽带光源的功率谱数据作为输入信号时的计算得到的自发辐射谱(对应前面 $P_{1\text{ASE}}(\lambda)$);图中最下面的两条曲线 3 和 4 分别是将该宽带光源的功率谱数据乘以 10 和 100 后作为输入信号时计算得到的自发辐射谱。从该图的各曲线可以明显看出,当输入信号功率较小时,放大器产生的自发辐射谱与不输入任何信号时的自发辐射谱近似相等,因此前面的 $P_{1\text{ASE}}(\lambda) \approx P_{2\text{ASE}}(\lambda)$ 式成立;随着输入信号功率水平增加,自发辐射谱功率降低,与不输入信号时的自发辐射谱相差较大,此时 $P_{1\text{ASE}}(\lambda) \approx P_{2\text{ASE}}(\lambda)$ 不再成立,利用图 1 装置将不再能测量放大器的增益谱。

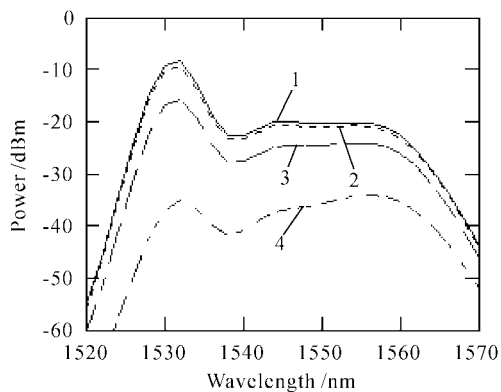


图 5 不同输入信号的数值模拟自发辐射谱
Fig. 5 Numerical simulation ASE spectrum for different power input signals

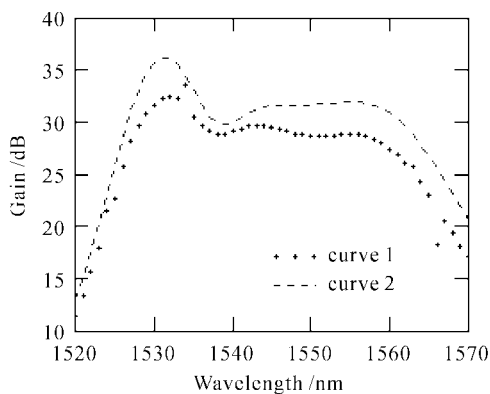


图 6 实验测量(曲线 1)和数值模拟(曲线 2)的增益谱
Fig. 6 Gain spectra of experimental measurement (curve 1) and numerical simulation (curve 2)

图 6 中数据点组成的曲线 1 是根据实验采样数据按公式(4)计算得到的放大器各波长处的增益,在 1540~1560 nm 的平均增益约为 29.0 dB。为了进

行比较我们给出了数值模拟的增益谱,如图中用虚线表示的曲线 2 所示,其在 1540~1560 nm 的平均增益约为 31.5 dB。由图可见,两条曲线的形状基本相同,实验曲线得到的增益稍低一些,这是因为,第一,理论模拟采用的参数都是各元件的理想情况,而所用模型也只考虑到掺铒光纤的均匀展宽情形的简化模型,而实际情况的掺铒光纤会存在一定的非均匀展宽等复杂效应,另外,实际的实验系统中的其他各元件也会受到各种因素的影响,这都会使理论计算与实验结果有一定的误差;第二,图 5 中的曲线 1 和 2,虽然两条曲线相差非常小,但有宽带光源输入信号时的自发辐射谱(曲线 2)要比无输入信号时的自发辐射谱(曲线 1)低平均 0.33 dB,而在实验增益谱的计算中,不考虑该差别,认为相等,因而也会引入一定的误差。

4 结 论

本文提出了用小功率宽带光源测量光纤放大器小信号增益谱的方法,该方法简单、方便,得到的小信号增益谱曲线也比较精确。在没有可调谐激光器的情况下,该方法可以作为测量光纤放大器小信号增益谱的一种选择。

参 考 文 献

- 1 Basic specification for OFA test methods [C]. IEC Publications 61290 Series, 1998
- 2 He Huajie. Methods comparison on measuring EDFA gain and noise figure [J]. *Guangdong Communication Technology* (广东通信技术), 1999, **19**(2): 38~39 (in Chinese)
- 3 Feng Jianhe, Yi Yuefeng, Guan Kejian. One method of accurate measurement of EDFA gain spectra [J]. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 2001, **30**(5): 543~545 (in Chinese)
- 4 Gong Xianguang, Zeng Zhilong, Cheng Hongxia *et al.*. A development of test system for erbium doped fiber amplifier [J]. *Optical Communication Technology* (光通信技术), 2000, **24**(4): 292~297 (in Chinese)
- 5 Nissov Morten, Mills Michael A, Lin Chinlon. Accurate measurements of erbium-doped fiber amplifier gain spectra [C]. Conference on Optical Fiber Communication, Technical Digest Series 2 Mar 7~Mar 10, 2000, 215~217
- 6 C. R. Giles, E. Desurvire. Modeling erbium-doped fiber amplifiers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1991, **9**(2): 271~283