

一种混合光纤放大器的设计*

薛飞** 邱昆 张宏斌

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

【摘要】以Photonic Transmission Design Suite仿真试验平台为基础,对EDFA和RFA的特性进行了较详细的研究,设计了一个3 dB带宽为4.25 THz、光信噪比在193.1 THz附近达38.5 dB、增益起伏小于1 dB的带宽为3.75 THz的混合光放大器,并将其应用于一个4信道的DWDM系统中,经传输230 km后,每路信号的输出光信噪比达到33.14 dB,输出光功率达到4 μ W,误码率达到 3.8×10^{-10} ,获得了较好的效果。

关键词 波分复用; 光放大器; 掺铒光纤放大器; 喇曼光纤放大器; 受激喇曼散射; 增益谱

中图分类号 TN913.24

在过去十年中,掺铒光纤放大器(EDFA)取代了传统的光-电-光中继方式,实现了一根光纤中多路光信号的同时放大,大大降低了光中继的成本,同时EDFA可与传输光纤取得良好的耦合,具有高增益低噪声的优点^[1],成功地应用于波分复用(WDM)光通信系统中,极大地增加了光纤中传输的信息容量和传输距离。随着计算机网络及其他新的数据传输业务的飞速发展,如何提高光纤传输系统容量、增加无电再生中继的传输距离,已经成为光纤通信领域研究的热点^[2]。光纤喇曼放大器(FRA)由于其自身固有的全波段可放大特性以及利用传输光纤做在线放大的优点,基本解决了以上问题,但是FRA有一明显的缺点就是其增益谱不够平坦,在193.1 THz和195 THz之间的增益谱是下降的,在190 THz和193.1 THz之间的增益谱是上升的,而EDFA的增益谱在193.1 THz和195 THz之间的增益谱是上升的,且两者上升幅度与下降幅度相当,因此,可将EDFA和FRA结合起来,组成混合光纤放大器来解决增益平稳度低的问题^[3]。由于喇曼光纤放大器具有较小的噪声系数和较大的光信噪比,而EDFA具有增益大的优点,所以混合光纤放大器还能很好地改善光信噪比和带宽以及增益^[4]。本文在PTDS仿真平台上设计了3 dB带宽为4.25 THz、光信噪比在193.1 THz附近达38.5 dB、增益达25 dB、增益起伏小于1 dB的带宽为3.75 THz的混合光放大器,并将其应用到一个4信道的DWDM系统中进行仿真试验。

1 混合光纤放大器的设计

EDFA在1 550 nm波长低损耗窗口有很好的增益谱特性,所以本文中的信号光频率设计在193.1 THz附近。EDFA为集中放大器,在设计混合光放大器时,它主要用来实现光增益,一般选定的长度不超过10 m,且采用前向泵浦来降低噪声。RFA为分布式光纤放大器,在设计混合光放大器时,主要用来平滑EDFA的增益谱和提高光信噪比,因此采用后向泵浦,一般长度在50~150 km之间。为了减小非线性效应,信号功率定为0.1 mW。仿真试验所设计的混合光放大器的结构如图1所示,将RFA放在EDFA之前是为了进一步提高进入EDFA的光信噪比^[5]。

1.1 EDFA参数设计(EDFA的长度和前向泵浦功率的确定)

EDFA随光纤长度 L 变化的增益 G 谱曲线如图2所示。从图中可以看出,不同光纤长度之间的增益谱曲线的变化规律基本相同,在190~196 THz之间增益是随频率增加的,在196~200 THz之间增益

2001年9月20日收稿

* 教育部高等学校优秀青年教师科研奖励计划资助项目

** 男 22岁 硕士生

是随频率减小的，增益在196 THz处有一极大值，并且随着光纤长度的增加，该极值也增加。EDFA增益随前向泵浦功率变化的曲线如图3所示。从图中可以看出，增益随前向泵浦功率增加而增加，当前向泵浦功率大于0.04 W时，前向泵浦功率对EDFA增益影响已经不大。EDFA光信噪比 O 与前向泵浦光功率 P 和EDFA的长度之间的关系如图4所示。从图中可以看出前向泵浦功率增加基本不会改变光信噪比，长度的增加使信噪比降低。综合考虑各方面的因素后，确定EDFA的长度为5 m，泵浦功率为0.07 W。

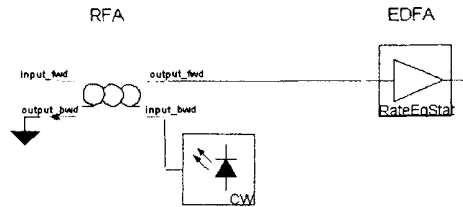


图1 混合光放大器的结构图

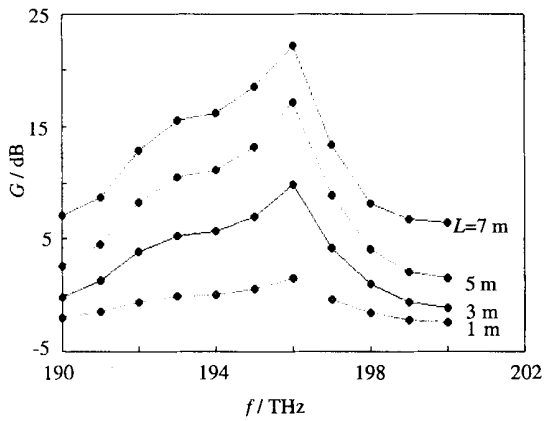


图2 不同光纤长度下的EDFA增益谱曲线

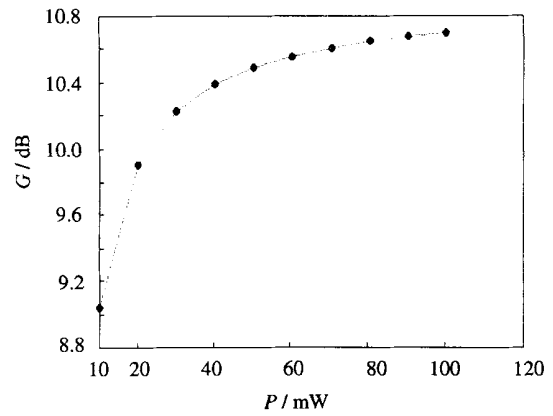


图3 EDFA增益随前向泵浦功率的变化曲线

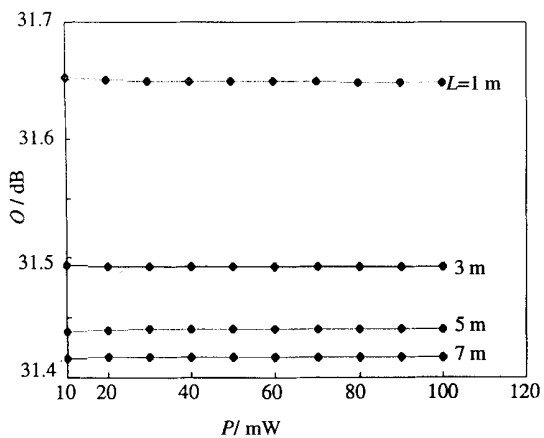


图4 EDFA光信噪比随前向泵浦功率和光纤长度变化关系曲线

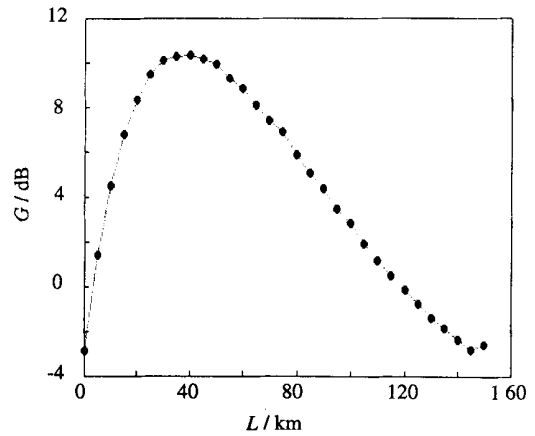


图5 FRA 增益随光纤长度的变化曲线

1.2 FRA参数设计

1.2.1 喇曼光纤长度的确定

喇曼光纤放大器增益 G 随光纤长度 L 的变化曲线如图5所示。由图中可以看出,在光纤长度小于40 km时,喇曼增益随光纤长度的增加而单调增加;在光纤长度大于40 km时,喇曼增益随光纤长度的增加而单调减小。喇曼光纤放大器光信噪比 O 随光纤长度的变化曲线如图6所示。从图中同样可以看出光信噪比随光纤长度的增加而单调减小,在光纤长度小于60 km时,长度的变化基本不影响光信噪比。综合考虑两方面因素,最后设计喇曼光纤长度为75 km。

1.2.2 喇曼泵浦功率 p 的确定

由于喇曼泵浦功率的大小直接影响混合光纤放大器的增益平稳度及其带宽,所以喇曼泵浦功率的大小可以通过混合光纤放大器的增益谱曲线来确定。通过改变喇曼泵浦功率的大小使混合光纤放大器的增益有较小的起伏和最大的带宽,从而确定出混合光纤放大器最小增益起伏时的喇曼泵浦功率。

当喇曼泵浦功率改变时,混合光纤放大器的增益谱如图7所示。从图中可以看出,增益随信号频率的增加并不是单调增加,在192~197 THz之间有一较平坦的增益谱,但随泵浦功率的不同,平坦度又有不同。从图中可以清楚的看出,当泵浦功率为0.5 W时,在193~196 THz之间,混合光放大器的增益起伏较小且带宽最宽,故设计喇曼泵浦功率为0.5 W。

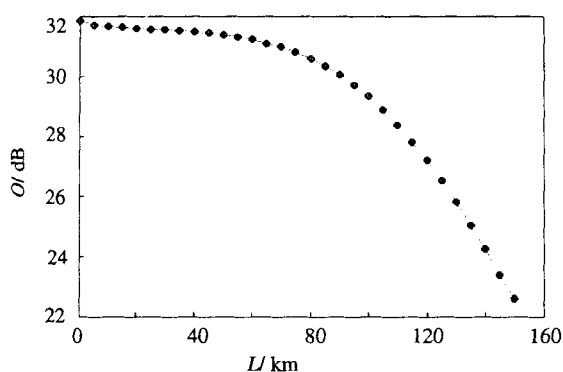


图6 FRA光信噪比随光纤长度的变化曲线

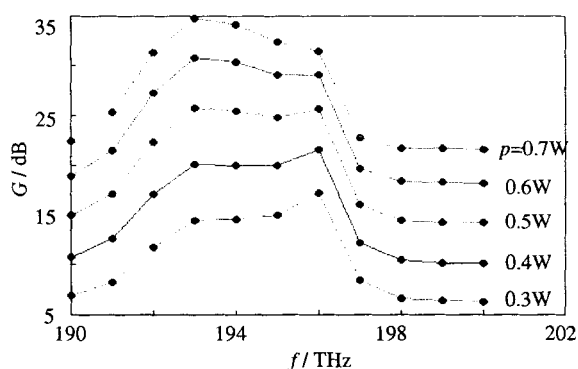


图7 混合光纤放大器的增益谱随喇曼泵浦功率的变化曲线

1.3 混合光纤放大器参数设计

根据以上所设计的参数,将FRA和EDFA级连组成一个混合光纤放大器,其结构如图1所示。图8和图9分别给出了该混合放大器的增益特性和光信噪比随信号光频率的变化曲线。从图8中可以看出该放大器的3 dB带宽为4.25 THz,增益起伏小于1 dB的带宽为3.75 THz,增益达到25 dB,在193.1 THz附近仍有较大的光信噪比,达到38.5 dB。

2 混合光纤放大器在DWDM系统中的应用

本文设计的混合放大器应用于一个4路的DWDM系统中,并在PTDS仿真平台进行试验,系统模型如图10所示。4路信号频率分别为193.19 THz, 193.13 THz, 193.07 THz和193.01 THz,每信道比特速率为2.5 Gbit/s,经过一个复用器后进入放大系统和120 km长的传输光纤以及35 km长的色散补偿光纤^[6],最后经一个解复用器,取出各信道的信号。通过环形模块可控制DWDM光波的传输距离,经传输230 km后,每路信号的输出光信噪比为33.14 dB,输出光功率为4 μ W,误码率为 3.8×10^{-10} 。可见,将混合光放大器运用于DWDM系统中达到了较好的传输性能。

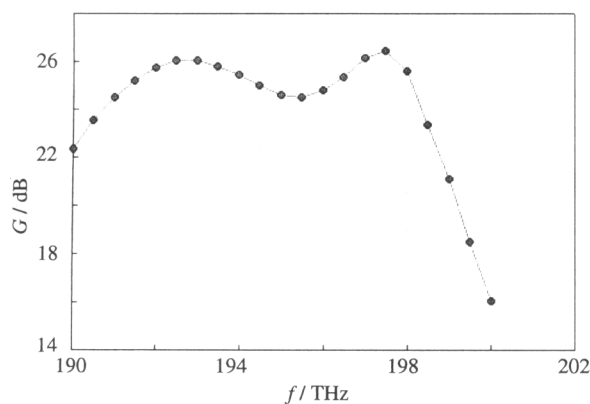


图8 混合光纤放大器的增益特性

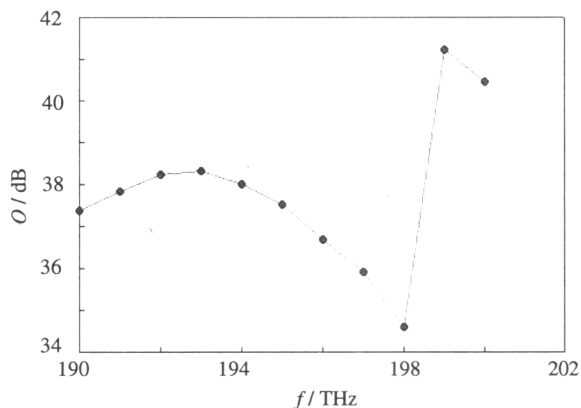


图9 混合光纤放大器光信噪比随信号光频率的变化曲线

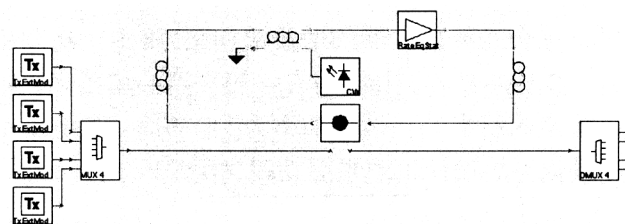


图10 应用混合光纤放大器时的4路DWDM系统的实验模型

3 结 论

本文设计了一台在193.1 THz附近增益达到25 dB, 光信噪比达到38.5 dB, 3 dB带宽达到4.25 THz, 增益起伏小于1 dB的带宽为3.75 THz的混合光纤放大器。该混合光纤放大器由一个集中式掺铒光纤放大器(前向泵浦)和一个分布式喇曼光纤放大器(后向泵浦)级连组成, 将该混合光纤放大器应用于一个4信道的DWDM光纤传输系统, 经传输230 km后, 仍有较高的信噪比、较高的输出功率和较小的误码率, 适合于长距离、大容量传输系统。该混合放大器在增加带宽方面的改进仍是有限的, 在实际应用中如需更大带宽时, 可采用两个双向泵浦的喇曼光纤放大器和一个正向泵浦的掺铒光纤放大器级连, 以获得更大的带宽。

参 考 文 献

- 1 杨祥林. 光纤放大器与全光通信技术. 大自然探索, 1992, 11(1): 8
- 2 张宏斌, 邱 昆, 周 东. 波分复用光纤通信技术. 电子科技大学学报, 2000, 29(4): 337-340
- 3 Desurvire E, Zyskind J, Giles C. Design Optimization for Efficient Erbium-Doped Fiber Amplifiers. IEEE Journal of lightwave technology, 1990, 8(11): 1730-1741
- 4 杨祥林. 光纤通信系统. 北京: 国防工业出版社, 2000
- 5 Bjarklev A. Optical fiber amplifiers: design and system applications. Artech House, Boston, London, 1993
- 6 张宏斌, 邱 昆, 周 东. 光纤传输特性及其在光网中的应用设计分析. 电子科技大学学报, 2000, 29(4): 342-346

(下转第23页)

The Generalized Haar Wavelet

Yuan Xiao¹ Chen Xiangdong² Li Qiliang³ Yang Jiade⁴

(1. College of Electronic Information, Sichuan Univ., Chengdu 610064; 2. Sichuan Province Key Lab for Transducer Thch. & Eng., UESTC, Chengdu 610054; 3. College of Physics, Sichuan Univ., Chengdu 610064; 4. Chongqing Optoelectronic Research Inst.Chongqing 400060)

Abstract The simple generalizing topic of the Haar wavelet is investigated in this paper. Firstly, an new concept called as the scaling coefficient function is presented, and then, introducing the time shift factor into the scaling coefficient function, the Haar wavelet is extended to the generalized Haar wavelets which an novel class of orthonormal wavelet. Secondly, the rationality of the simple generalizing method of the orthonormal wavelet, which presented in this paper, is studied theoretically and some properties of the generalized Haar wavelet are discussed. Finally, the closed form expression of the generalized Haar wavelet is given in both the time domain and the frequency domain.

Key words scaling coefficient function; time-shift factor; generalized Hilbert transformation

(上接第18页)

A Design of Hybrid Optical Fiber Amplifier

Xue Fei Qiu Kun Zhang Hongbin

(Institute of Communication and Information Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract The paper studies the characteristics of EDFA and RFA in detail on the base of emulation experiments using PTDS, which is a simulation platform for optical transmission system emulation. A 1dB-gain-flatness-bandwidth reaching 3.75 THz, 3dB-bandwidth reaching 4.25 THz and OSNR at 193.1 THz reaching 38.5 dB hybrid amplifier comprised of a distributed Raman amplifier and an EDFA has been achieved and is applied in a 4-channel DWDM communications system. After 230 km transmission, the output signals are excellent. The output OSNR reaches 33.14 dB, the output power reaches 4 μ W and the BER reaches 3.8×10^{-10} .

Key words wavelength division multiplexing; optical amplifier; EDFA; fiber Raman amplifier; stimulated Raman Scattering; gain spectrum