

文章编号 : 0258-7025(2001)01-0063-04

两段级联内插差异损耗功率箝制 掺铒光纤放大器

王 燕 刘 丹 厉 群 刘小明 彭江得

(清华大学电子工程系 北京 100084)

摘要 针对全光网中信道路径不同所引起的功率失衡问题,设计了一种利用商用光纤波分复用器实现两段级联内插差异损耗环的功率箝制掺铒光纤放大器(EDFA)光路结构,并从理论和实验上研究了光路结构参数对放大器动态范围和噪声特性的影响。得出损耗插入最佳位置在 60%附近,最佳插入损耗大小 5~8 dB 依抽运功率和光纤长度而定。所研制的功率箝制 EDFA 在信号波长 1553 nm 处,动态范围大于 20 dB,动态范围内平均输出功率超过 290 μ W。

关键词 差异损耗,功率箝制,动态范围

中图分类号:O 438;TN 248;TN 818 文献标识码:A

Two-stage Erbium Doped Fiber Optical Power Limiting Amplifiers with Incorporated Differential Loss Loop

WANG Yan LIU Dan LI Qun LIU Xiao-ming PENG Jiang-de

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Aiming at the power equalization in all-optical networks, an optical configuration of two-stage Erbium doped fiber optical power limiting amplifiers with incorporated differential loss loop is presented. The effects on the dynamic range and noise characteristic by the loss value and relative position were investigated theoretically and experimentally. The optimum values are around 60% for the position and 5~8 dB for the loss, respectively. Accordingly, an optical power limiting EDFA with a large dynamic range(over 20 dB under 30 mW pump power) is demonstrated. The average output power within the dynamic range at the signal wavelength of 1553 nm is in excess of 290 μ W.

Key words differential loss, power limiting, dynamic range

1 引 言

工作在 1.55 μ m 波段的掺铒光纤放大器(EDFA)可以有效地补偿光纤传输损耗和分路损耗,在波分复用(WDM)光纤通信系统和光网络中得到广泛的应用。然而,由于 EDFA 本身存在着增益不平坦性和均匀饱和的增益展宽特性,这种功率差别沿传输链逐渐积累,会造成某些信道功率高度集中,引起光纤非线性效应(如:自相位调制 SPM,交叉相位调制 XPM 等),而某些信道功率过小,超出接收机灵敏度范围。因此,信道间功率的不均衡最终会严重恶化系统的性能。在信号放大过程中会出现信道间功率不均衡的现象。

WDM 全光网中的信道路由功能由光交叉互连(Optical Cross Connect,简称 OXC)完成。OXC 一般由解复用器阵列、光开关阵列、波长交换(变换)器和复用器阵列等器件构成。由于各器件对光信号均存在损耗,当信号经过 OXC 节点时,动态交叉连接(波长路由)路径的不同将导致对各信道的损耗不同,因此在节点的输出端信道间的功率不平坦度可能会增加,在以后的传输中将面临上述产生非线性效应或超出灵敏度范围的问题。

为了解决这一问题,人们提出了多种利用掺铒光纤放大器实现功率箝制的技术方案^[1~3],使功率不同的信号经过放大后输出功率相同。其中,Oliver C. Graydon 等提出一种插入差异损耗的机制来实现功率箝制^[4],结构比较简单。但是,该方案

采用绕成一定直径的光纤圈来实现对抽运光和信号光的差异损耗,可靠性较差。本文提出一种利用常用元件实现差异损耗的光路结构,并就这种结构从理论和实验两个方面对功率箝制 EDFA 的动态范围和噪声特性的基本变化规律进行了详细研究。

2 两段级联内插差异损耗功率箝制 EDFA 的理论模拟

图 1 为本文提出的两段级联内插差异损耗功率箝制 EDFA 的光路结构。这是一个两段级联的放大器,抽运光波长为 980 nm,两段间插入一个由 980/1550 nm 波分复用器 WDM # 2 构成的差异损耗环。信号光在经过第一段掺铒光纤 EDF # 1(长度为 L_1)后,从 WDM # 2 的 1 端口耦合到 3 端口,经过一个可变衰减器后,又从 2 端口耦合到 4 端口再

进入第二段掺铒光纤 EDF # 2(长度为 L_2)中,而从 EDF # 1 输出的 980 nm 剩余抽运光直接从 WDM # 2 的 1 端口耦合到 4 端口,几乎没有附加损耗。

图 2 给出模拟计算的图 1 所示结构下抽运光和信号光功率沿掺铒光纤长度的变化,实线和虚线分别代表输入为 -20 dBm 和 0 dBm 时的特性。可以看到,经过 EDF # 1 后,两个信号均得到放大,但是 -20 dBm 信号消耗的抽运功率要少得多。经过 WDM # 2 损耗环衰减相同的 dB 数后进入 EDF # 2,之后输入为 -20 dBm 的信号在剩余抽运光激励下继续得到放大,而输入为 0 dBm 的信号 EDF # 2 对其略有吸收。结果,两个输入大小不同的信号在 EDF # 2 的输出端合并并在同一个功率点上。从 -20 dBm 到 0 dBm 之间任一大小的信号相应的功率变化曲线应在这两条曲线之间,因此在 -20 dBm 到 0 dBm 的 20 dB 动态范围内实现了功率箝制。

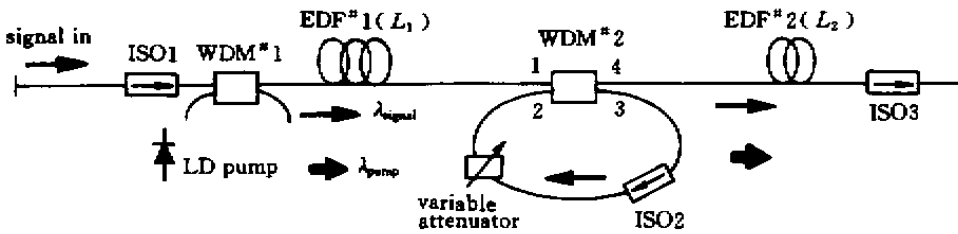


图 1 两段级联内插损耗功率箝制 EDFA 光路结构

Fig. 1 Two-stage erbium-doped fiber optical limiting amplifiers with incorporated differential loss loop

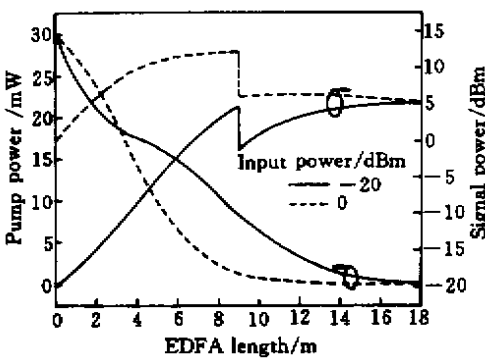


图 2 抽运光和信号光功率沿掺铒光纤长度的变化

Fig. 2 Pump and signal power distribution along the erbium-doped fiber length

我们将两段掺铒光纤总长度固定为 10 m,改变 WDM # 2 损耗环的位置(用百分比 $L_1/(L_1 + L_2) \times 100\%$ 来表示)和可变衰减器的衰减量,对图 1 所示功率箝制 EDFA 的输出-输入特性进行了模拟计算,结果如图 3(a)~(d)所示。抽运功率取为 20

mW,为简便计算过程中未考虑光纤焊点损耗和器件本身的插入损耗。一般地,放大器的输出特性可分为以下三个区:当输入信号功率比较小时,输出功率随输入功率线性增长,这是放大器的线性工作区;当信号功率大于某个值后,放大器进入饱和,虽然输入功率增加,输出功率保持恒定,这时微分增益 $\left(\frac{dP_{s,out}}{dP_{s,in}} = G + P_{s,in} \frac{dG}{dP_{s,in}}\right)$ 近似为零,这是我们关心的功率箝制区;而后当输入功率进一步加大,由于掺铒光纤已经完全漂白,输出功率又进一步加大。引入差异损耗机制可以增加功率箝制区覆盖的输入功率范围,同时减少输出功率的起伏程度,但要选择合适的衰减量和衰减插入的位置。从图 3 所示模拟计算结果可以看到,WDM # 2 环的最佳位置应在掺铒光纤 60% 左右的地方(图 3(c)),在这一位置上,损耗增加到一定程度(~ 5 dB)时,输出曲线在饱和区比较平坦。如果再继续增加损耗,输出曲线就会出现凹坑,即出现微分增益为负的情况,并且凹坑随着损耗的增加而加深。由于插

入了较大的损耗,功率箝制放大器的输出功率较小,这可以通过进一步级联作为功率放大的第三段掺铒光纤来解决。

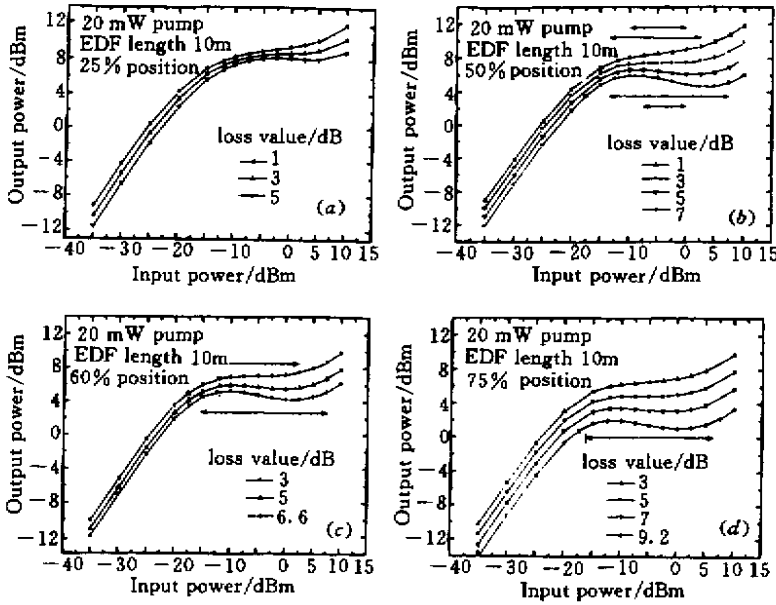


图 3 输出信号功率与输入信号功率关系曲线
Fig.3 Theoretical input-output signal power curves

3 实验研究

基于上述理论计算,对内插差异损耗功率箝制 EDFA 的特性进行了实验研究。实验用光路结构如图 1 所示,与理论模拟不同的是在耦合环内还引入了隔离器 ISO2。采用中心波长为 1553.2nm 的分布反馈布拉格(DFB)激光器作信号源,L1 与 L2 的长度分别为 12 m 和 6.9 m,相应于损耗插入位置 63%,抽运源 LD 的波长为 980 nm,抽运功率为 30 mW。WDM # 1 和 WDM # 2 为 980/1550 nm 合波器,对抽运光和信号光的插入损耗皆小于 0.2 dB。光隔离器 ISO1 和 ISO2 插入损耗分别为 0.3 dB 和 0.5 dB。

图 4(a)所示为该放大器输出信号功率与输入信号功率的关系曲线。如图所示,当衰减器损耗为 7.7 dB 时,饱和区输出曲线比较平坦。而损耗为 8.5 dB 时,输出功率起伏幅度不超过 ±0.5 dB,仍能满足实际使用的要求。这时在大于 20 dB 的输入动态范围内,输出功率保持在 -5.3 dBm 左右(±0.5 dB)。由于理论模拟忽略了光路结构中所有可能的损耗,而实际测量时输出端附加损耗较大,因而实验所得输出功率较理论值低了许多。

图 4(b)给出了该放大器的噪声系数(NF)与输入功率的关系曲线,由图可见,在小信号情况下,NF 基本上不受损耗大小的影响,大信号时,NF 随损耗

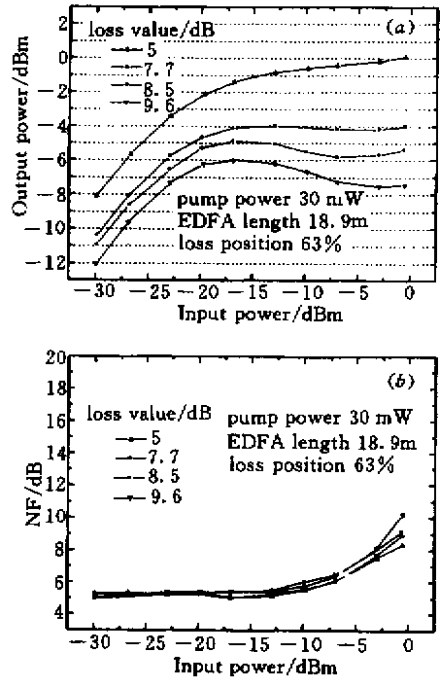


图 4 输出功率(a)和噪声系数(b)实验曲线
Fig.4 Measured output power(a) and noise coefficient(b) characteristics

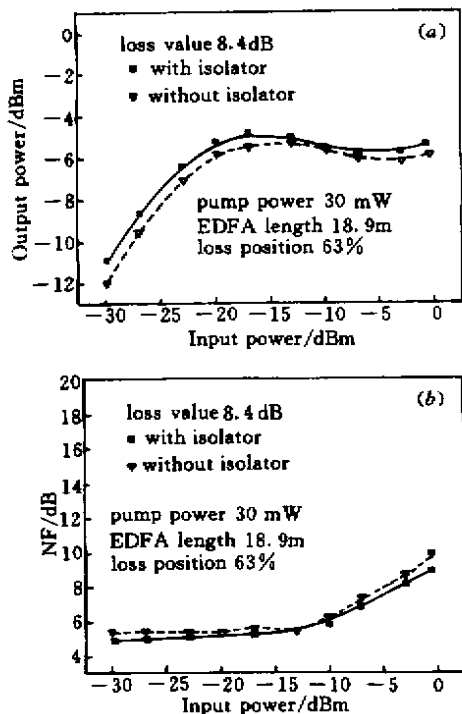


图5 加入隔离器前后功率箝制 EDFA 性能比较

Fig.5 Output power (a) and noise figure (b) characteristics of power limiting EDFA with and without isolator

增加而增加。

此外,还对在 WDM # 2 损耗环中引入 ISO2 前后的输出功率和噪声系数进行了实验比较,如图 5(a)和(b)所示,实线和虚线分别代表引入和不引入 ISO2 的情况。可见,损耗环内引入隔离器 ISO2 后,动态范围向小信号方向移动了近 0.5 dB,输出平均功率从 $266 \mu\text{W}$ 增加到 $296 \mu\text{W}$,提高了约 0.45 dB,同时噪声系数也略有下降。这是因为隔离器 ISO2 阻断了来自于 EDF # 2 的反向 ASE,从而

提高了放大器的增益,改善了噪声特性。关于两段级联放大器的诸多研究表明,隔离器的相对插入位置在 15% ~ 45% 之间时,可有效地抑制 ASE 功率,降低噪声^[5]。然而在我们的两段级联内插差异损耗环的功率箝制 EDFA 中,为了保证箝制性能,差异损耗环应插在 60% 左右的地方。因此,差异损耗环中的隔离器不能有效地改善噪声特性,然而可以通过将功率箝制 EDFA 的第一段进一步分成两段来解决这一问题。

4 结 论

基于 EDFA 的饱和特性,设计出一种使用商用光纤器件实现的两段级联内插差异损耗的功率箝制 EDFA 光路结构,并通过理论和实验研究得到了功率箝制 EDFA 优化设计的一些基本规律。据此成功地研制出动态范围大于 20 dB,输出平均功率大于 $290 \mu\text{W}$ (-5.3 dBm) 的功率箝制 EDFA。

参 考 文 献

- 1 M. Zirngibl. An optical power equalizer based on one Er-doped fiber amplifier. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1992, **4**(4):357 ~ 359
- 2 W. I. Way, T. H. Wus, A. Y. Yan *et al.*. Optical power limiting amplifier and its applications in an SONET self-healing ring network. *J. Lightwave Technol.*, 1992, **10**(2):206 ~ 214
- 3 Haruo Okamura. Automatic optical loss compensation with erbium-doped fiber amplifier. *J. Lightwave Technol.*, 1992, **10**(8):1110 ~ 1116
- 4 Oliver C. Graydon, M. N. Zervas, R. I. Laming *et al.*. Erbium-doped-fiber optical limiting amplifiers. *J. Lightwave Technol.*, 1995, **13**(5):732 ~ 739
- 5 M. N. Zervas, R. I. Laming, D. N. Payne. Efficient erbium-doped fiber amplifiers incorporating an optical isolator. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1995, **31**(3):472 ~ 480