

文章编号: 1001-3806(2013)02-0216-03

抽运功率配置对双向喇曼放大器性能的影响

龙青云¹, 邓华秋², 崔得龙¹

(1. 广东石油化工学院 计算机与电子信息学院, 茂名 525000; 2. 华南理工大学 理学院, 广州 510640)

摘要: 为了研究抽运功率配置对双向抽运光纤喇曼放大器性能的影响, 基于已有的耦合方程, 采用数值仿真方法, 分析了不同抽运功率配置对双向抽运光纤喇曼放大器的增益、增益饱和以及抽运功率转换效率的影响。结果表明, 双向抽运光纤喇曼放大器的增益、增益饱和以及抽运功率转换效率特性均介于同向和反向抽运光纤喇曼放大器之间, 并且随着同向抽运功率在抽运总功率中所占比例的升高, 增益、增益饱和功率和抽运功率转换效率的数值增加; 大信号、抽运功率较大时, 抽运功率配置对双向抽运光纤喇曼放大器性能的影响显著。这对双向抽运光纤喇曼放大器和光纤激光研究具有一定的参考价值。

关键词: 光通信; 抽运功率配置; 数值仿真; 光纤喇曼放大器; 双向抽运

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.02.019

Effect of pump power deployment on bi-directional pumping fibre Raman amplifiers

LONG Qing-yun¹, DENG Hua-qiu², CUI De-long¹

(1. Department of Computer & Communication, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China; 2. School of Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: To study effect of pump power deployment on bi-directional pumping fibre Raman amplifiers (FRA), the gain, gain saturation and power conversion efficiency under different pump power deployment were calculated based on the known coupling equations. The simulation results show that the gain, gain saturation and power conversion efficiency are all between the values of forward-pumped and backward-pumped FRAs and they increase when forward pump power is larger. The phenomenon becomes evident with all the pump power and initial signal power increases. The conclusion gives some advice for the work of FRA and fibre laser.

Key words: optical communication; pump power deployment; numeric simulation; fibre Raman amplifier; bi-directional pumping

引言

光纤喇曼放大器 (fibre Raman amplifier, FRA) 基于受激喇曼散射的原理, 具有宽带宽、低噪声以及分布式放大等优点, 成为大容量超长距离密集波分复用系统中不可或缺的关键器件之一^[1-6]。

反向抽运 FRA 的抽运光转移给信号光的相对强度噪声小, 成为由 FRA 和掺铒光纤放大器组成的混合光纤放大器的主要抽运方式^[7]。但反向抽运 FRA 的信号功率较小, 满足不了光纤通信系统中分插复用器中间下路时对最小信号功率的要求; 同向抽运 FRA 有较高的信号功率, 但对抽运源相对强度噪声要求较高;

双向抽运 FRA 集中前两者的优点, 信号功率变化比较平缓, 可以得到更加平坦的增益、噪声, 提高系统的光信噪比^[8]。近年来, 大功率激光器的性能提高, 其相对强度噪声值满足双向抽运 FRA 的技术要求^[9]。目前, 一些研究人员已经证明双向抽运 FRA 的优越性和重要应用价值^[8, 10], 但还未见抽运光功率配置对单波长双向抽运 FRA 性能影响的报道。前期研究中已对同向抽运 FRA 和反向抽运 FRA 的增益特性进行了详细分析, 并对两种抽运方式 FRA 的增益特性进行了比较^[1-3]。作者在此基础上, 采用数值仿真方法, 详细分析不同抽运功率配置对双向抽运 FRA 性能的影响。

1 理论基础

如图 1 所示, 当同向抽运 FRA 和反向抽运 FRA 同时存在于—光纤传输系统时, 即双向抽运 FRA。双向抽运 FRA 中信号光和抽运光的耦合方程为^[1-2]:

作者简介: 龙青云 (1982-), 女, 讲师, 主要研究领域为光纤通信器件。

E-mail: lian149605@163.com

收稿日期: 2012-06-01; 收到修改稿日期: 2012-06-15

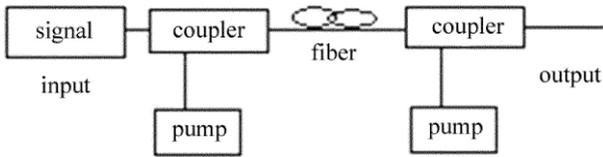


Fig. 1 Structure diagram of a bi-directional pumping RFA

$$\frac{dP_s}{dz} = \frac{g_R}{A_{eff}}(P_f + P_b)P_s - \alpha_s P_s \quad (1)$$

$$\frac{dP_f}{dz} = -\frac{\nu_p}{\nu_s} \frac{g_R}{A_{eff}} P_f P_s - \alpha_p P_f \quad (2)$$

$$\frac{dP_b}{dz} = \frac{\nu_p}{\nu_s} \frac{g_R}{A_{eff}} P_b P_s + \alpha_p P_b \quad (3)$$

式中 ν_s 、 ν_p 分别是信号光和抽运光的频率; g_R 为光纤的喇曼增益系数; A_{eff} 为光纤有效面积; α_s 、 α_p 分别为信号光频率和抽运光频率处光纤的损耗系数; P_s 、 P_f 、 P_b 分别是信号光、同向抽运光和反向抽运光沿光纤分布的功率, P_f 与 P_b 之和为双向抽运总功率。表 1 为本文中所采用的 3 种抽运功率配置。为了分析更精确, 该方程组的求解采用参考文献 [2] 中用到的打靶法和龙格-库塔法相结合的数值计算方法。考虑到当前的技术, 打靶法中还采用了 10W 的限幅器。

Table 1 Three kinds of pump power deployment

pump power deployment	forward pump power/mW	backward pump power/mW
a	375	125
b	250	250
c	125	375

2 数值结果与讨论

2.1 增益

这里的增益是指开关增益 G , 其定义见前期研究 [1]。图 2 为不同抽运方式时抽运总功率与 G 的关系; 图 3 为图 2 右上角虚线框内部分的放大图。除图中的参量值变化外, 其它参量取值和参考文献 [3] 中的一样。并且图中曲线 a、曲线 b、曲线 c 对应表 1 中的抽运功率配置情况, 曲线 d 和曲线 e 分别表示同向和反向抽运 FRA 所对应的情况。由这两图可知, 双向抽运 FRA 中抽运总功率对 G 的影响介于同向和反向抽运 FRA 之间。由此结果以及参考文献 [1] 和参考文献 [2] 也可推得其它参量对增益的影响同样介于同向和反向抽运 FRA 之间, 即双向抽运 FRA 的增益特性位于同向和反向抽运 FRA 之间, 这将导致增益平坦度更好, 和参考文献 [8] 中的分析结果一致。3 种不同抽运功率配置的双向抽运 FRA, 随着同向抽运功率在抽运总功率中所占比例越来越低, 增益也越来越低, 反之亦然, 这个结果和前期研究 [3] 得到的结论一致。为了

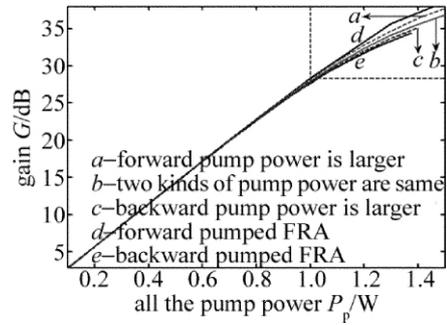


Fig. 2 Pumping power P_p and gain G under different pump power deployment

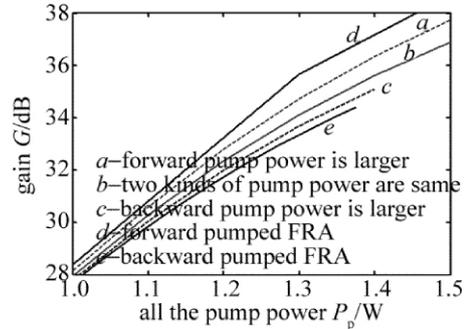


Fig. 3 P_p and G under different pump power deployment (local amplification of Fig. 2)

使得信号光功率沿光纤的分布较均匀, 减少不必要的非线性干扰, 可以采用同向和反向相同抽运功率的方式, 即图 2 中曲线 b 所对应的方式。此外, 抽运功率较小时, 抽运功率配置对 G 的影响较小; 抽运功率较大时, 抽运功率配置对 G 影响显著。

2.2 增益饱和

图 4 为不同抽运功率配置时初始信号光功率与增益的关系。由图 4 可知, 总体来说, 双向抽运 FRA 的增益饱和功率位于同向和反向抽运 FRA 之间; 不同抽运配置引起的增益饱和情况如下: 同向抽运功率在抽运总功率中所占比例越高 (见曲线 a), 增益越难达到饱和, 即增益饱和功率越高; 反之, 反向抽运功率所占比例越高 (见曲线 c), 增益越容易达到饱和, 即增益饱和功率越低; 不管是哪一种双向抽运配置, 小信号时增益几乎相同, 没有增益饱和, 大信号时增益急剧下降, 饱和现象明显。这个结果与前期研究得出的结果一致 [3]。

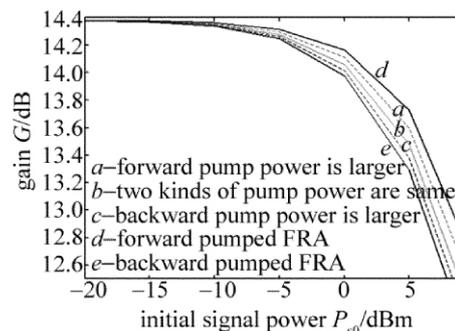


Fig. 4 Initial signal power P_{s0} and gain G under different pump power deployment

此外,联合图2可得,若抽运总功率增加,所有配置的增益将随之增加,而且增益更容易(即在更小的信号时)达到饱和,所有增益曲线的区别也越来越大。

2.3 抽运功率转换效率

图5是不同抽运功率配置时初始信号光功率与抽运功率转换效率的关系。分布式FRA的功率转换效率(power conversion efficiency, PCE)定义为^[11]:

$$\alpha_{\text{PCE}} = \frac{P_s(0)(G-1)}{P_p} \quad (4)$$

式中 $P_s(0)$ 和 P_p 分别为初始信号功率和抽运总功率 $P_p = P_f + P_b$ 。由图5可得,双向抽运FRA的抽运功率转换效率位于同向和反向抽运FRA的 α_{PCE} 之间,并且呈现出更加接近同向抽运FRA的 α_{PCE} 的趋势;同样条件下,同向抽运功率在双向抽运总功率中所占比例越大,对应 α_{PCE} 也越大。这是因为相同条件下,同向抽运能提供更高的增益,而由(4)式知, α_{PCE} 与增益呈正向关系。小信号时,抽运功率配置对双向抽运FRA的 α_{PCE} 影响较小;大信号时,抽运功率配置对双向抽运FRA的 α_{PCE} 影响很大。此外,联合图2可得,随着初始抽运总功率增加,同向抽运能提供的增益越来越大,双向抽运FRA的 α_{PCE} 将增加。联合图4可得,随着初始信号光功率增加,增益逐渐达到饱和, α_{PCE} 也逐渐达到最大值,即 α_{PCE} 与增益饱和有关,这与参考文献[11]中的结论一致。

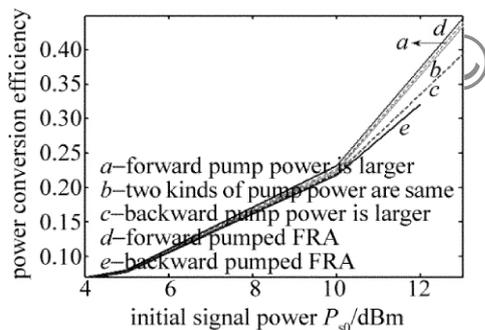


Fig. 5 Initial signal power P_{s0} and power conversion efficiency α_{PCE} under different pump power deployment

3 结束语

双向抽运FRA的增益、增益饱和与抽运功率转换

效率特性均介于同向和反向抽运FRA之间,并且随着同向抽运功率在抽运总功率中所占比例升高,增益、增益饱和与抽运功率转换效率的数值增加;小信号、抽运总功率较小时,抽运功率配置对双向抽运FRA性能的影响较小。大信号、抽运功率较大时,抽运功率配置对双向抽运FRA性能的影响显著。这对双向抽运FRA的进一步研究和光纤激光研究有参考意义。

参考文献

- [1] DENG H Q, LONG Q Y, WU J F. Gain characteristics of forward pumped Raman fiber amplifier[J]. Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition), 2005, 33(10): 44-47(in Chinese).
- [2] DENG H Q, LONG Q Y. Analysis of the gain characteristics of backward-pumped fibre Raman amplifier [J]. Acta Photonica Sinica, 2006, 35(10): 1534-1537, in Chinese).
- [3] LONG Q Y, DENG H Q. Comparison of gain between forward-pumped and backward-pumped fibre Raman amplifier [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2007, 28(5): 655-658(in Chinese).
- [4] LONG Q Y, WU T W. Analysis of threshold characteristics of fibre Raman amplifier [J]. Laser Technology, 2008, 32(1): 67-70(in Chinese).
- [5] ZHOU W J, WANG R B, LI Z R. Study of distributed broadband fiber Raman amplifier [J]. Laser Technology, 2009, 33(5): 449-451(in Chinese).
- [6] ZHOU W J, WANG R B, LI Z R. Experiment study of distributed fiber Raman amplifiers [J]. Laser Technology, 2010, 34(3): 373-376(in Chinese).
- [7] MASUDA H. Review of wideband hybrid amplifiers [C]//Optical Fiber Communication Conference. Washington DC, USA: Optical Society of America, 2000: 2-4.
- [8] EMORI Y, KADO S, NAMIKI S. Independent control of the gain and noise figure spectra of Raman amplifiers using bi-directional pumping [J]. Furukawa Review, 2003(23): 11-15.
- [9] KADO S, EMORI Y, NAMIKI S, et al. Broadband flat-noise Raman amplifier using low-noise bi-directionally pumping sources [J]. Optical Communication, 2001, 6(1): 38-39.
- [10] MA Y H, SUN F J. Experiment and analysis of long span repeaterless optical-fiber transmission systems [J]. Telecommunications for Electric Power System, 2006, 27(8): 37-40(in Chinese).
- [11] MEI J J, LIU D M, HUANG D X. Analysis of power conversion efficiency of fiber Raman amplifier [J]. Laser Technology, 2003, 27(4): 349-351(in Chinese).