

文章编号: 0253-2239(2010)06-1571-05

基于高阶受激布里渊散射的高频微波信号产生技术

沈颖^{1,2} 王荣¹ 蒲涛¹

(¹ 解放军理工大学通信工程学院电信工程系, 江苏南京 210007; ² 92403 部队装备部, 福建福州 350600)

摘要 对受激布里渊散射(SBS)信号产生的过程及原理进行了分析,提出了一种利用环腔多次放大产生多级布里渊散射信号的方法,并通过实验产生了较为稳定的1~6阶散射信号。在此基础上,提出了一种利用环腔所产生的四阶布里渊散射信号对经马赫-曾德尔调制器(MZM)调制产生的四阶边带信号进行选择放大,而后将被放大的高阶边带信号与载波信号进行拍频,从而获得高频微波信号的简单方法。该方法仅需要一个掺铒光纤放大器(EDFA)就可以产生高达 $n(1 \leq n \leq 6)$ 倍于11 GHz的微波信号,具有器件成本低、拍频效率高的优点。仿真和实验结果证实该方法是可行的。

关键词 微波光子学;微波信号产生;受激布里渊散射;选择放大

中图分类号 TN253 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20103006.1571

A Novel Technique to Generate High-Frequency Microwave Signal Based on High-Order Stimulated Brillouin Scattering

Shen Ying^{1,2} Wang Rong¹ Pu Tao¹

¹ Department of Telecommunications Engineering, Institute of Communication Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210007, China
² Equipment Department of Army 92403, Fuzhou, Fujian 350600, China

Abstract The process and principle of stimulated Brillouin scattering(SBS) signal generation are analyzed. A novel ring configuration for generating high-order Brillouin scattering signals is proposed. The first-order to sixth-order Stokes signals are obtained by the experiment. Based on this new method, the sideband signal modulated by Mach-Zehnder modulator(MZM) is selectively amplified by the gain spectrum of the corresponding fourth-order Stokes signal. Finally, the amplified signal is beat with the optical carrier signal to generate a high-frequency microwave signal. This technique can be utilized to generate microwave signals with frequency of $n(1 \leq n \leq 6)$ times of 11 GHz using only one erbium-doped fiber amplifier(EDFA). This method has the advantages of low cost and high efficiency of frequency multipling. The feasibility of this method is demonstrated by simulation and experiment.

Key words microwave photonics; microwave generation; stimulated Brillouin scattering(SBS); selectively amplified

1 引 言

由于光载无线(ROF)系统具有系统容量大、传输损耗低和抗电磁干扰能力强等显著优点,具有广阔的应用前景。又由于随着无线频率的提高,系统的传输容量将会更大,所以需要低成本微波信号

源的产生进行研究。

另一方面,光纤中的非线性效应之一受激布里渊散射(SBS)能在微波频段内产生一个相对于充当抽运信号的光载波信号的频移,所以布里渊散射在微波信号产生^[1,2]及光频的上下变频方面受到了广泛的

收稿日期: 2009-08-01; 收到修改稿日期: 2009-10-11

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK2007501)资助课题。

作者简介: 沈颖(1981—),女,硕士研究生,主要从事微波光子学方面的研究。E-mail: shenyng81@126.com

导师简介: 王荣(1962—),男,教授,博士生导师,主要从事集成光电子学、光网络等方面的研究。

E-mail: wr-njice@163.com

关注。

1998年 Yao 等^[3,4]利用布里渊选择放大技术对相位调制、幅度调制及微波光子信号的上下变频进行了深入研究。2005年沈一春等^[5~8]对基于布里渊散射全光微波信号产生及光纤光栅激光器进行了研究。其后, Park 等^[9,10]也基于受激布里渊散射原理对光频上变频、微波信号倍频及微波信号产生进行了研究,且该上变频方法的无杂散动态范围(SFDR)达到了 $75.1 \text{ dB} \cdot \text{Hz}$,三倍频信号的增益达到了 20 dB,但是该方法需要采用两个掺铒光纤放大器(EDFA),以及两盘光纤,结构较为复杂,倍频效率低。

为了实现更高的性能增益,本文提出了一种全新的利用环腔获得高阶布里渊散射信号,从而得到高频微波信号的方法,并进行了仿真和实验研究。

2 受激布里渊散射的过程及原理

光纤中的布里渊散射分为自发布里渊散射和受激布里渊散射。自发布里渊散射是在入射光功率很低的情况下,产生的一种自发的非线性光散射。而受激布里渊散射过程实际上是在入射光功率超过阈值功率的情况下,高频入射光的能量向低频率的背向斯托克斯(Stokes)光转移的过程。

为了获知一盘长度为 25 km 的光纤的布里渊散射阈值,采用图 1 所示实验方案进行测试,图中用功率计 1 测量透射信号的功率值,功率计 2 则用来测量布里渊散射信号的功率值。测得的传输功率和斯托克斯功率与输入功率的关系如图 2 所示,从图 2 中可以看出该盘光纤的受激布里渊散射阈值为 10 dBm。

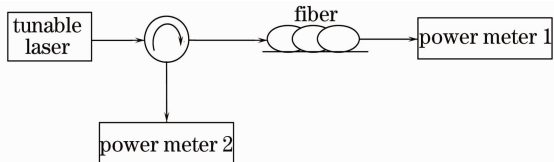


图 1 布里渊阈值测试实验原理图

Fig. 1 Experimental diagram of the SBS threshold test

图 3 所示为测试受激布里渊散射谱的实验原理图,将可调谐激光器调谐至中心波长 1550 nm,为使入射光功率达到阈值功率,以确保能产生受激布里渊散射,调谐激光器的出光功率为 12 dBm(如图 2 所示,实验测得该段光纤的阈值为 10 dBm),而后再将该抽运光信号经环形器注入长度为 25 km 长的光纤,最后通过光谱分析仪(OSA)进行观测即可得到布里渊散射信号。

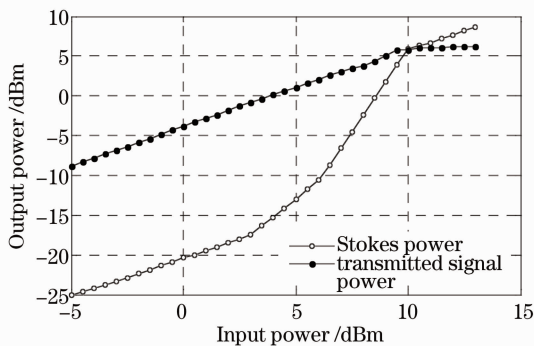


图 2 传输光功率以及斯托克斯光功率与入射光功率的关系

Fig. 2 Measured optical power of the transmitted and Stokes waves versus input power

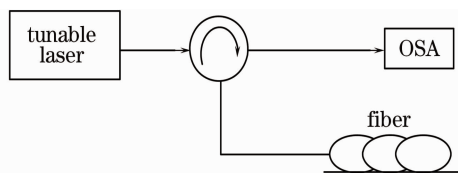


图 3 受激布里渊信号产生的实验原理图

Fig. 3 Experimental setup for generation of SBS signal

图 4 所示为观测得到的布里渊散射信号,图中可以看出左边的中心波长为 1550.07 nm 的光信号为抽运信号,右边与其相距 0.08 nm 的光信号即为受激布里渊散射信号。

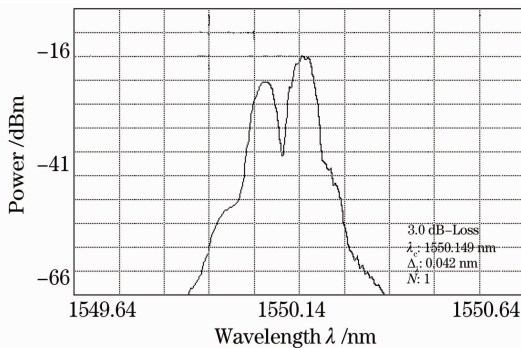


图 4 光谱仪观测得到的 SBS 信号

Fig. 4 Signal of SBS observed by OSA

3 多级布里渊散射信号的产生

3.1 级联的方式产生多级布里渊散射信号的原理

为了得到多级布里渊散射信号,可以考虑用级联的方式,原理图如图 5 所示。图中,虚线方框所示部分产生一阶布里渊散射光信号,每增加一个这样的方框,就对应产生高一阶的布里渊散射光信号。

图 5 所示的实验方案在理论上是可行的,通过对前一级散射回来的布里渊频移信号进行放大,再将被放大的布里渊散射信号作为入射光信号通过

环形器注入光纤进而再一次产生布里渊频移,从而得到了多级斯托克斯光信号。但是,完成该方案需

要多个掺铒光纤放大器、环形器以及多盘光纤,实现代价较高。

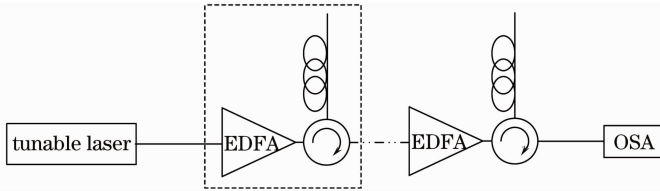


图 5 级联的方式产生多级布里渊散射信号的原理图

Fig. 5 Cascaded scheme of multiple Brillouin scattering signal generation

3.2 环腔的方式产生多级布里渊散射信号的原理

针对以上不足,提出了如图 6 所示的产生多级布里渊散射信号的环腔方案。其中,将可调谐激光器作为激励光源,将从可调谐激光器出射的光信号送入 2×2 耦合器的输入端口 1,耦合器的端口 4 接掺铒光纤放大器的输入端,对光功率进行放大,从放大器出来的光信号输入环形器的端口 1,环形器的端口 2 接光纤,此时从环形器 3 口输出的光信号包含光载波和一级布里渊散射光两个信号分量,将该光信号送入耦合器的另一个输入端即图中的端口 2,至此就构成了一个环腔,分析可得当环腔中的光信号第二次从环形器端口 3 输出时,其中包含了 3 个分量,即为光载波、一级布里渊散射光和二级布里渊散射光。以此类推,可以得到高阶的布里渊散射光信号。

光信号送入耦合器的另一个输入端即端口 2。从耦合器端口 3 用型号为 MS9710C、分辨率为 50 pm 的光谱分析仪进行观测,得到了如图 7 所示的含有光载波信号和多级斯托克斯光信号的光谱,图 7 中可以清楚地观测到 1~6 阶斯托克斯光信号。

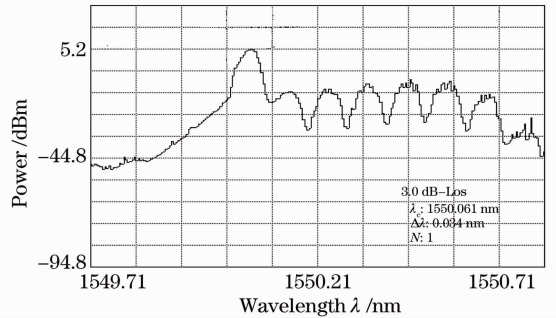


图 7 含有光载波信号和多级 Stokes 信号的光谱

Fig. 7 Optical spectrum of the signal containing optical carrier signal and multiple Stokes signals

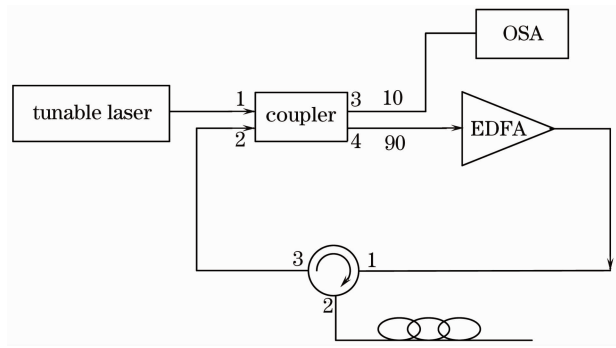


图 6 环腔产生多级布里渊散射信号的方案

Fig. 6 Scheme of simultaneously getting multiple Stokes signals by ring cavity

3.3 实 验

根据图 6 所示的方案,调谐激光器的中心波长为 1550 nm、出光功率为 6 dBm,然后将该光信号送入分光比为 90%/10%的 2×2 耦合器的一个输入端即图中的端口 1,耦合器的端口 4 接增益为 17 dB 的掺铒光纤放大器的输入端,对光功率进行放大,从放大器出来的光信号输入环形器的端口 1,环形器的端口 2 接 25 km 的光纤,从环形器端口 3 输出的

4 基于布里渊选择放大的高频微波信号的产生原理

4.1 布里渊选择放大技术原理

布里渊选择放大技术是利用具有窄线宽的布里渊增益谱去放大功率较弱的调制边带信号及载波信号。将被放大的光载波信号与被放大的边带信号进行拍频即产生了射频信号。

由于拟产生 44 GHz 的微波信号,考虑用四阶斯托克斯信号光去选择放大由马赫-曾德尔调制器(MZM)调制所产生的负四阶边带信号,再经过光电检测拍频后即可由微波频谱分析仪观测到 44 GHz 的微波信号。实验方案如图 8 所示。

通过简单的环腔结构实验产生了四阶斯托克斯光信号后,由于现在实验室缺少 11 GHz 的点频放大器,所以只能在以上实验的基础上对该方案做进一步仿真及理论分析。

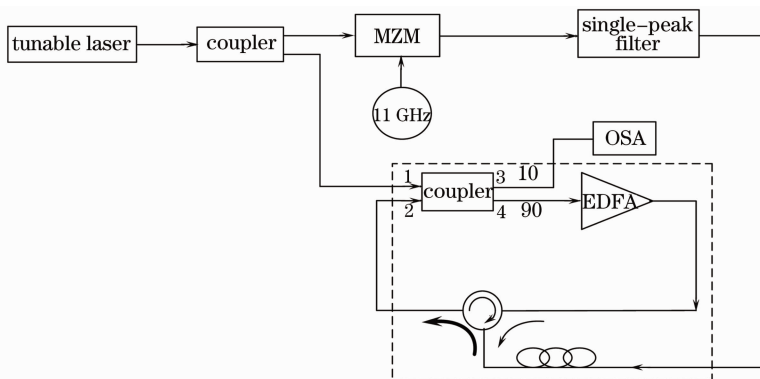


图 8 布里渊选择放大产生高频微波信号的方案

Fig. 8 Scheme of generating high-frequency microwave signal using the Brillouin selective amplified technique

4.2 马赫-曾德尔调制器(MZM)的调制边带

对 MZM 的输出频谱进行分析^[11]不难得到:当偏置电压为 $V_{\text{bias}} = 0.5 V_{\pi}$ (V_{π} 为半波电压) 时,调制器输出为载波和所有(奇偶)谐波分量,如图 9(a) 所示;当偏置电压为 $V_{\text{bias}} = 2 V_{\pi}$ 时,调制器输出仅为载波和偶次谐波分量,如图 9(b) 所示;当偏置电压

为 $V_{\text{bias}} = V_{\pi}$ 时,调制器输出仅为奇次谐波分量,如图 9(c) 所示。设调制器的半波电压 $V_{\pi} = 1 \text{ V}$, 输入调制器的射频信号的频率为 11 GHz、电压为 2 V, 则通过仿真得到 MZM 工作在不同状态时的输出信号的结果如图 9 所示。

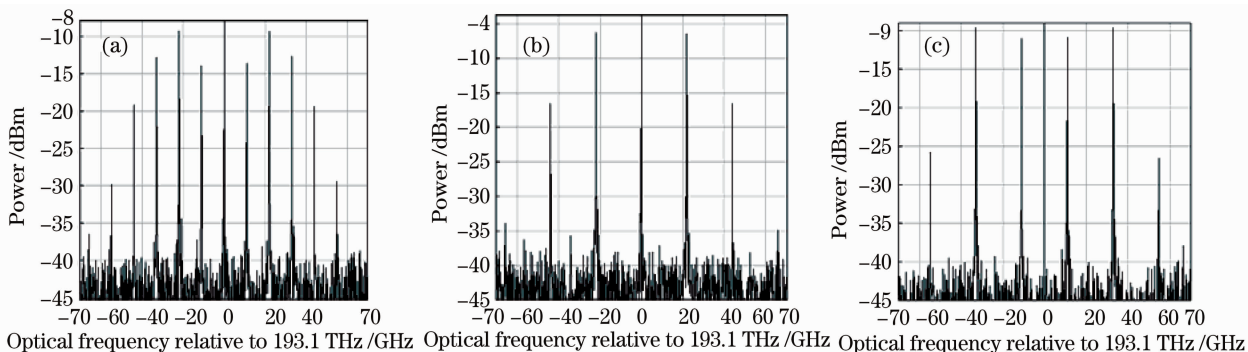


图 9 MZM 工作在不同状态时的输出信号。(a) 偏置电压为 $0.5 V_{\pi}$; (b) 偏置电压为 $2 V_{\pi}$; (c) 偏置电压为 V_{π}

Fig. 9 Output signals while the MZM is working under different bias voltages. (a) bias voltage is $0.5 V_{\pi}$; (b) bias voltage is $2 V_{\pi}$; (c) Bias voltage is V_{π}

4.3 高频微波信号的产生

如图 8 所示,将从可调激光器出来的光信号经 MZM 调制到图 9(b) 所示的状态,而后经过一个光纤布拉格光栅(FBG)单峰峰滤波器,滤除负二阶边带,即滤波器的输出信号的负边带中只有负四阶边带信号。图 8 中的虚线框内所示的为图 6 即环腔产生多级布里渊散射信号的方案,现在将由调制器输

出的并经滤波器滤波后所得的边带信号(图 10)从虚线框中光纤的另一端注入,则布里渊效应所产生的四阶斯托克斯信号由于频率与调制产生的负四阶边带信号的频率一致将对其进行放大,在耦合器 3 端口用光谱仪可观测到如图 11 所示的光信号。

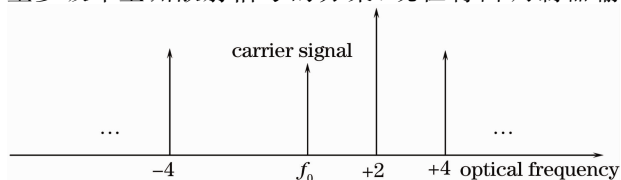


图 10 经单峰滤波器滤波后所得的边带和载波信号

Fig. 10 Sideband signals and carrier signal obtained after being filtered by a single-peak filter

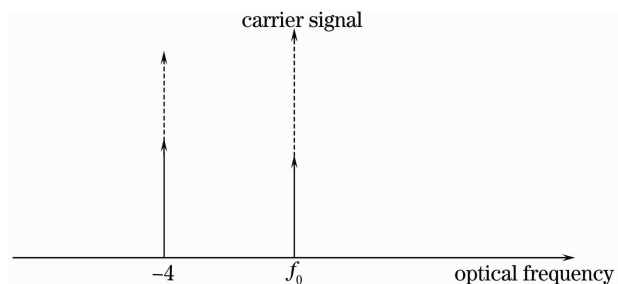


图 11 选择放大后所得的信号

Fig. 11 Signal obtained after selectively amplification

若在耦合器的 3 端口不用光谱仪观测而是用光电探测器进行拍频然后用微波频谱分析仪观测,即可得到频率为 44 GHz 的稳定的高频微波信号。

5 结 论

提出了一种改进的产生高阶布里渊散射光信号的环腔结构,并通过实验产生了 1~6 阶布里渊散射光信号。在此基础上利用布里渊选择放大技术,用由以上环腔结构所产生的高阶布里渊散射光信号对由马赫-曾德尔调制器调制所产生的边带信号进行放大,并将被放大了四阶布里渊散射信号与载波信号进行拍频,从而给出了一种新的产生高频微波信号的方法,并分析了该方法的可行性。仿真及实验结果证明该方法仅需要一个掺铒光纤放大器就可以产生高达数倍于 11 GHz 的微波信号,器件成本低、倍频效率高。

参 考 文 献

- 1 T. Schneider, M. Junker, D. Hannover. Generation of millimetre-wave signals by stimulated Brillouin scattering for radio over fiber systems[J]. *Electron. Lett.*, 2004, **40**(23): 1500~1502
- 2 Chen Bin, Zheng Shilie, Chi Hao *et al.*. An optical millimetre-wave generation technique based on phase modulation and Brillouin-assisted notch-filtering[J]. *Photon. Technol. Lett.*, 2008, **20**(24): 2057~2059
- 3 X. Steve Yao. Brillouin selective sideband amplification of microwave photonic signals[J]. *Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(1): 138~140
- 4 X. Steve Yao. Phase-to-amplitude modulation conversion using Brillouin selective sideband amplification[J]. *Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(2): 264~266
- 5 Shen Yichun, Zhang Xianmin, Chen Kangsheng. Research on Brillouin selected sideband amplification of 11 GHz microwave photonic signals[J]. *J. Microwaves*, 2005, **21**(2): 42~44
沈一春,章宪民,宋牟平等. 11 GHz 微波光子信号的单边带布里渊选择放大实验研究[J]. *微波学报*, 2005, **21**(2): 42~44
- 6 Shen Yichun, Zhang Xianmin, Chen Kangsheng. All-optical generation of microwave and millimeter wave using a two-frequency bragg grating-based Brillouin fiber laser [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2005, **23**(5): 1860~1865
- 7 Shen Yichun, Zhang Xianmin, Chen Kangsheng. Optical single sideband modulation of 11 GHz RoF system using stimulated Brillouin scattering[J]. *Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(6): 1277~1279
- 8 Shen Yichun. Study on applications of simulated Brillouin scattering in RoF systems[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005. 62~69
沈一春. 受激布里渊散射在 RoF 系统中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005. 62~69
- 9 Chul Soo Park, Chung Ghiu Lee, Chang Soo Park. Photonic frequency upconversion based on stimulated Brillouin scattering [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2007, **19**(10): 777~779
- 10 Chul Soo Park, Chung Ghiu Lee, Chang Soo Park. Photonic frequency upconversion by SBS-Based frequency tripling[J]. *J. Lightwave Technol.*, 2007, **25**(7): 1711~1718
- 11 Xie Chang. A new generation and transfer method of millimeter-wave photonics[D]. Nanjing: PLA University of Science and Technology, 2009. 26~28
谢 畅. 一种新型的毫米波光子学产生与传送方法研究[D]. 南京:解放军理工大学, 2009. 26~28