

布里渊光纤环形激光器谐振腔及稳频特性

吕月兰 程 丽 崇学庆

(哈尔滨工程大学理学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 根据布里渊光纤环形激光器谐振腔特性,设计了一套以单片机为控制中心,压电陶瓷(PZT)为调频器件的光纤环形激光器稳频系统。采用“数值均值滤波”的思想,消除外界因素的影响,提高了鉴频精度;采用“等步长调节,小步长跟踪”控制方法,可在保证跟踪速度的基础上提高控制精度。由于控制步长非常小,系统不易产生控制振荡,因而不易失锁。应用设计的光纤环形激光器稳频系统完成了对布里渊环形激光器的稳频锁定实验,鉴频时间达到 500 μs ,锁定精度达到 ± 0.5 MHz,锁定时间约为 30 min。

关键词 光纤光学; 布里渊环形激光器; 直流稳频; 压电陶瓷

中图分类号 TN253 **文献标识码** A

Resonance Characteristics and Frequency Stabilization in Brillouin Fiber Ring Laser

Lü Yuelan Cheng Li Chong Xueqing

(College of Science, Harbin Engineering University, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract Based on investigations of resonance characteristics in Brillouin fiber ring resonator, a frequency stability system is developed, in which microprocessor is adopted as the central controller and piezoelectric ceramics (PZT) as the frequency regulator. In order to eliminate effects of external factors, the idea of “numerical average filter” is adopted, which has highly improved the accuracy of frequency-discrimination. Besides, in order to make full use of the high speed characteristic of the frequency stability system designed in this paper, the control idea of “equal step, small step and quick control” is adopted. Using this control idea can improve the control accuracy and still guarantee the tracking velocity, and the system will not be easy to lose locking because the control idea rejects control vibration. The measuring frequency time is about 500 μs , and frequency accuracy is about 0.5 MHz, the locking time is 30 min.

Key words fiber-optics; Brillouin fiber-optic ring laser; DC frequency stabilization; piezoelectric ceramics

1 引 言

布里渊光纤环形激光器线宽窄、频率稳定、增益方向敏感,已成为研究的热点^[1~6]。稳定的单频输出对布里渊环形激光器作为抽运光实现布里渊光纤陀螺的应用有很重要的意义。温度、光克尔效应、非线性相移都会引起激光输出频率变化和跳模现象^[7~11]。

在光纤环形激光器稳频技术^[12~15]的基础上,根据布里渊光纤环形激光器谐振腔特性,设计了一种以单片机为控制中心,压电陶瓷(PZT)为调频器件的布里渊光纤环形激光器稳频系统,是将谐振腔的频率稳定在抽运光频率附近,实现单频稳频输出,并保持相对长时间的稳定。以单片机作为系统的控制中心,主要采用“数值均值滤波”的思想,消除外界因素的影响,提高了鉴频精度;采用“等步长调节,小步

长跟踪”的控制方法,在保证跟踪速度的基础上提高控制精度。采用非常小控制步长,系统不易产生控制振荡,且不易失锁。采用直流方式控制逻辑具有简单有效、响应特性好及控制灵活等特点。应用所设计的光纤环形激光器稳频系统完成了对布里渊环形激光器的稳频锁定实验,为制造高精度、高稳定布里渊光纤陀螺提供了理论依据。

2 布里渊光纤环形谐振腔的设计及特性测试

2.1 光纤环形谐振腔的设计

光纤环形腔中耦合的强弱程度可以由标准耦合系数 β 来表征

$$\beta = \kappa / \kappa_r,$$

当临界耦合时, $\beta = 1$; 当耦合器光强耦合系数 κ 小于谐振腔损耗 κ_r 时, 称谐振腔处于欠耦合状态, 即 $\beta < 1$; 当 κ 大于 κ_r 时, 称谐振腔处于过耦合状态, 即 $\beta > 1$ 。

光纤熔接中会引入一定的熔接损耗, 计算不易确定环形腔的损耗。因此, 通过实验方法来判断哪一种光纤环形腔适用于布里渊光纤陀螺。判断原则是: 通过调节激光器频率(扫频)或改变环形腔腔长获得光纤环形腔谐振曲线, 然后对光纤环形腔施加一小的损耗(如微弯光纤引入微弯损耗等)。观察示波器上出射光强谐振曲线的最低峰变化情况, 来确定此光纤环形腔是处于过耦合状态还是欠耦合状态。若施加一小损耗后, 输出谐振曲线的波谷下移, 继续施加损耗波谷又上移, 则光纤环形腔处于过耦合状态; 若波谷不动或上移则可判定处于欠耦合状态。

为有所对比, 采用两种具有不同光强耦合比的光纤耦合器制作成光纤环形腔, 其中一个耦合器的光强耦合比为 98:2, 另一个为 95:5。按照图 1 所示将光纤耦合器的端口 2 和端口 4 用一段单模光纤(光纤长度为 21m)熔接在一起, 形成光纤环形腔。然后通过实验来测定这两种光纤耦合器哪种适用于布里渊光纤陀螺。分布反馈(DFB)光纤激光器发出的 1550 nm 超窄线宽激光, 经光隔离器、偏振控制器由耦合器的端口 2 输入光纤环形腔内, 端口 4 接

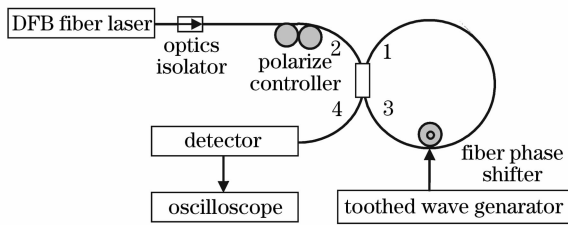


图 1 布里渊光纤环形谐振腔谐振特性测试实验装置图

Fig. 1 Experimental set-up of detecting resonance characteristics in Brillouin fiber ring resonator

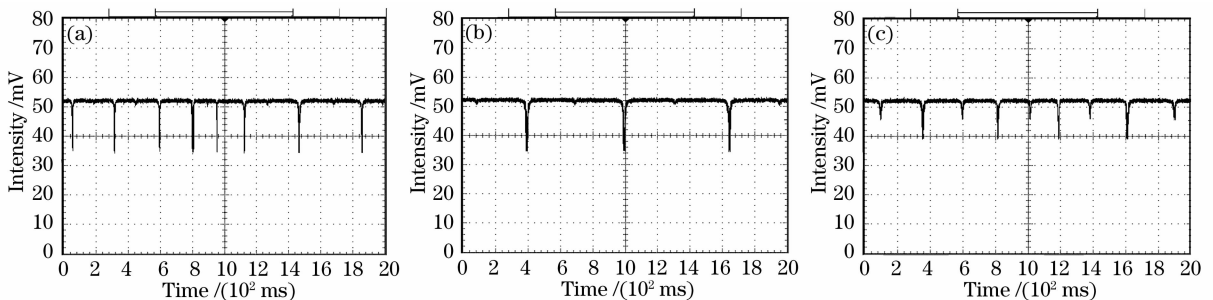


图 2 频率扫描谐振曲线图

Fig. 2 Resonance curves with frequency scanning

光电探测器, 用于探测出射的抽运激光光强并显示于示波器上。

当给环形腔施加一小损耗后, 实验发现, 第一种采用 98:2 的耦合器制成的光纤环形腔, 谐振曲线波谷没有出现下移现象。可以判定该腔处于欠耦合状态, 不适于用作布里渊光纤陀螺(B-FOG)。第二种采用 95:5 的耦合器制成的环形腔, 谐振曲线波谷出现了下移, 继续加大损耗, 波谷又上移。该环形腔处于过耦合状态, 适宜用于布里渊光纤陀螺。

2.2 光纤环形谐振腔的特性测试

获得环形腔的谐振曲线有两种方式, 一种是调节激光器频率, 另一种是通过光纤移相器改变环形腔的腔长。在这里通过调节激光器频率的方法来检测谐振现象。

实验中所用的分布反馈光纤激光器是温控的。恒温时, 输出频率变化很慢, 当把温控措施去掉时, 输出频率变化很快。让分布反馈激光器工作于非恒温状态下, 得到的谐振扫描曲线如图 2(a) 所示。从图中可以看出每个谐振峰之间的间隔不相等, 表明激光器输出频率变化过快, 甚至两个谐振峰之间的间隔小于一个自由光谱区域。图 2(b) 为采取温控措施, 激光器输出频率趋于稳定时的谐振曲线, 两相邻谐振峰之间间距近似相等。用 ORIGIN 软件来处理图 2(b) 的数据, 可以得出该环形腔的精细度为 70。

实验中还观察到了一种现象, 如图 2(c) 所示, 出现了两种谐振模同时谐振的现象。由于每种偏振本征态都有各自不同的谐振特性, 就导致光纤环形谐振腔中的光谐振不稳定。因此在布里渊光纤陀螺中要使光纤环形腔中只存在一种偏振本征态, 可以通过采用单偏振单模光纤、保偏光纤及在谐振腔中加偏振控制器的方法来保留一种偏振本征态。仔细调整偏振控制器可消除一种偏振本征态。

3 布里渊光纤环形激光器稳频设计

3.1 稳频系统光路部分结构及其特性

光纤环形激光器的基本结构如图3所示。激光器采用1550 nm的分布反馈式激光器,内置有温度控制系统,输出频率随温度变化呈线性变化。PC为偏振控制器,用于消除偏振带来的影响。 C_2 是环形器,它是一种多端口输入输出的非互易性器件,作用是使光信号只能沿规定的端口顺序传输。激光经光纤隔离器、环形器和偏振控制器,由光纤耦合器(98:2)将抽运光耦合入光纤环形腔内,出射的抽运光由光电探测器探测并送入稳频电路中处理,从而控制相位调制器进行调制。当环形腔达到谐振时,受激布里渊(SBS)激光经光纤环形器输出。

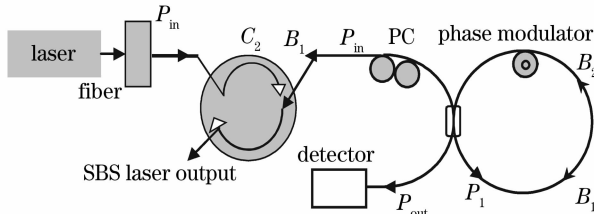


图3 布里渊光纤激光器的基本结构图

Fig. 3 Scheme of Brillouin fiber ring laser

3.2 稳频方案的设计

通过对比发现直流稳频方案优点更多,并且易于实现,因此本设计中采用直流稳频原理来设计布里渊光纤环形激光器稳频系统。稳频系统以单片机为控制中心,以线性高压驱动电路和采样电路构成闭环控制系统。稳频电路基本结构如图4所示。单片机是系统的控制中心,其控制思想决定了稳频系统的稳定性和锁定的精度。主要采用“数值均值滤波”的思想,消除外界因素的影响,提高了鉴频精度;采用“等步长调节,小步长跟踪”的控制思想,这样就可在保证跟踪速度的基础上提高控制精度。由于控制步长较小,系统不易产生控制振荡,且不易失锁。

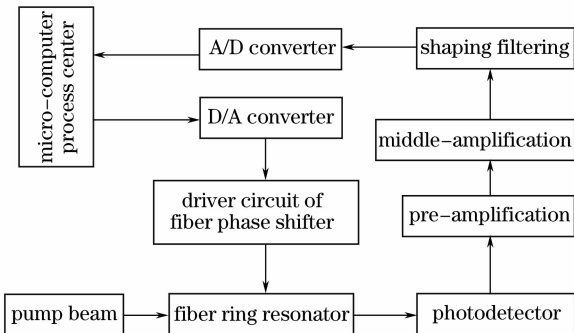


图4 小步长稳频系统框图

Fig. 4 Scheme of “small step” frequency stabilization

设计的光纤环形激光器稳频系统完成了对布里渊环形激光器的稳频锁定实验,鉴频时间达到500 μ s,锁定精度达到 ± 0.5 MHz,锁定时间约为30 min。

4 结 论

理论上和实验上对布里渊光纤环形激光器谐振腔特性及稳频特性进行了研究,设计了适用于布里渊光纤陀螺的谐振腔,并测试了其谐振特性。同时,利用压电陶瓷器件进行光纤环形激光器谐振频率的控制系统设计。建立一套简单易行、稳频效率高的直流稳频系统。

参 考 文 献

- 1 Sun An, Chen Jialin, Li Guoyang *et al.*. Detection of spontaneous Brillouin backscattered power in distributed optical fiber sensor system based on high frequency microwave technology[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(4): 503~506
孙安, 陈嘉琳, 李国扬等. 基于高频微波技术的分布式光纤传感器布里渊散射信号检测[J]. *中国激光*, 2007, **34**(4): 503~506
- 2 Liu Yang, Feng Xinhuan, Dong Xiaoyi. Progress in room-temperature stable multi-wavelength fiber laser technologies[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(7): 883~895
刘艳格, 冯新焕, 董孝义. 室温稳定多波长光纤激光器技术的研究新进展[J]. *中国激光*, 2007, **34**(7): 883~895
- 3 Kozo Taguchi, Kaname Fukushima, Atsuyuki Ishitani *et al.*. Fundamental characteristics of semiconductor ring laser gyroscopes [J]. *Electrical Engineering in Japan*, 2000, **132**(4): 445~447
- 4 Fengping Yan, Jianbo Wu, Weiwei Xue *et al.*. Experimental investigation of the stimulated Brillouin scattering fiber optic gyros [C]. *SPIE*, 2004, **5279**: 675~682
- 5 J. Zheng. Single mode fibre frequency-modulated continuous-wave Sagnac gyroscope[C]. *Electron. Lett.*, 2004, **40**(20):
- 6 Sun Hyok Chang, Seong Joon Ahn, Hyoung Yoon Kim. Optical Kerr effect in a direction-switched fiber laser gyroscope[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1999, **35**(10): 1424~1430
- 7 F. Zarinetchi, S. P. Smith, S. Ezekiel. Stimulated Brillouin fiber-optic laser gyroscope[J]. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(4): 229~231
- 8 P. A. Nicati, K. Toyama, S. Huang *et al.*. Temperature effects in a Brillouin fiber ring laser[J]. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(24): 2123~2125
- 9 L. F. Stokes, M. Chodorow, H. J. Shaw. All-fiber stimulated Brillouin ring laser with submilliwatt pump threshold[J]. *Opt. Lett.*, 1982, **7**(10): 509~511
- 10 S. Huang, L. Thévenaz, K. Toyama *et al.*. Optical Kerr-effect in fiber-optic Brillouin ring laser gyroscopes[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, **5**(3): 365~367
- 11 Y. Tanaka, S. Yamasaki, K. Hotate. Brillouin fiber-optic gyro with directional sensitivity[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(10): 1367~1369
- 12 Kazuo Hotate, Yosuke Tanaka. Analysis on state of polarization of stimulated Brillouin scattering in an optical fiber ring-resonator [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1995, **13**(3): 384~390
- 13 Y. Tanaka, K. Hotate. Fiber Brillouin ring laser without instability due to interaction between the polarization lateral modes[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1995, **7**(5): 482~484
- 14 K. Hotate, T. Ito. Fiber ring resonator with stable eigenstate of polarisation using twisted single mode optical fiber[J]. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(10): 923~924
- 15 Pierre-Alain Nicati, K. Toyama, H. J Shaw. Frequency stability of a Brillouin fiber ring laser[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1995, **13**(7): 1445~1451