

全光纤光外差检测技术的研究*

向永江

(南京航空学院信息工程部, 南京, 210016)

摘要: 本文介绍了由普通单模光纤构成的全光纤光外差检测系统的基本原理和实验研究结果。在该系统中采用了自行研制设计的实现全光纤化的两个关键光纤元件, 普通单模光纤频率偏移器和普通单模光纤偏振控制器, 介绍了此两光纤元件的基本工作原理和设计方法。文章还给出了实际的全光纤外差检测系统。元器件的选用及实现光外差检测空间条件的光路调节方法。

关键词: 普通单模光纤 外差检测 频率偏移 偏振控制 全光纤系统

Research on all-fibre optical heterodyne technique

Xiang Yongjiang

(Department of Information Engineering, Nanjing Aeronautical Institute)

Abstract: The principle and experimental results of all-fibre optical heterodyne system, in which ordinary single mode fibres are used, are presented. Two novel fibre devices, fibre optic frequency shifter and fibre optic polarization controller, are employed in this system. The principle and design method for the two key devices are described. In addition, this paper gives practical system, selection of electrooptic component, and alignment criterion for optical configuration in detail.

Key words: single-mode fibre heterodyne frequency shifting polarization control all-fibre system

一、引言

在功能型光纤传感系统中, 光纤本身就能感受外界被测量的变化, 同时又能起信号传输作用, 特别是能实现系统的全光纤化, 因此与非功能型比, 它具有更广阔的发展前景。功能型光纤传感系统, 一般采用光学干涉技术实现高灵敏度的检测。图1为 Mach-Zehnder 光纤干涉系统, 其中一路光纤为信号

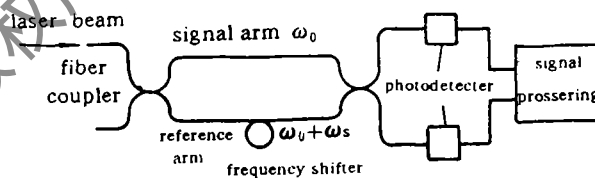


Fig. 1 Mach-Zehnder fiber optic interference system

* 本课题为航空基金资助项目。

臂,另一路为参考臂。

在许多场合下,Mach-Zehnder 光纤干涉系统需要光外差技术来实现信号检测,以提高信噪比和实现某些特殊功能。光外差检测的传统做法是在一条光路中插入 Bragg 声光调制频移器,使一束光的频率产生偏移。但是 Bragg 元件不是光纤元件,它的插入将截断光纤而无法构成全光纤系统。本文重点阐述采用自行设计研制的光纤偏频器和光纤偏振控制器实现全光纤光外差检测的研究及实验结果。

二、光外差检测的基本原理

在图 1 中,频率为 ω_0 的激光经分束器分为二束光,分别沿两路光纤传导。其中一束光经频率偏移器后成为频率为 $(\omega_0 + \omega_s)$ 的光, ω_s 为频率偏移器产生的偏移频率,另一束光的频率仍为 ω_0 。该两束光由光电探测器实现外差检测。在光电探测器上两光波的电矢量分别为:

$$E_1(t) = A_1 e^{j(\omega_0 t + \varphi_1)} \quad (1)$$

$$E_2(t) = A_2 e^{j[(\omega_0 + \omega_s)t + \varphi_2]} \quad (2)$$

式中 A_1, ω_0, φ_1 和 $A_2, \omega_0 + \omega_s, \varphi_2$ 分别为二束光的振幅、频率和初相位,在光电探测器上光束叠加后的合成光波电矢量为:

$$E(t) = A_1 e^{j(\omega_0 t + \varphi_1)} + A_2 e^{j[(\omega_0 + \omega_s)t + \varphi_2]} \quad (3)$$

合成光强度为:

$$\begin{aligned} I &= E^* E = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos\{[(\omega_0 + \omega_s) - \omega_0]t + (\varphi_2 - \varphi_1)\} \\ &= I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos[\omega_s t + (\varphi_2 - \varphi_1)] \end{aligned} \quad (4)$$

式中, I_1 和 I_2 为常数项,经光电探测器输出的信号实际上是由第三项形成的外差信号电流,它的圆频率为两束光的差频 ω_s ,幅值与两光束电矢量的振幅成正比。

只要光源有足够好的单色性,光路调整符合要求,光电探测器有足够好的灵敏度和响应频率,上述光外差信号能清楚的在示波器或频谱分析仪上观察到。

三、实现全光纤光外差检测的两个关键光纤元件

前面提到,在光纤外差系统中,如采用 Bragg 元件来实现偏频,无法实现全光纤化。另外,在由普通单模光纤构成的光外差检测系统中,入射的线偏振光经光纤后,一般成为方向任意的椭圆偏振光,会严重影响外差检测效果。为了使光纤的出射光重新成为所需方向的线偏振光,如像常规做法那样,在光路中加进晶体半波片和四分之一波片^[1],也将破坏光纤光路的连续性。这些非光纤元件的插入,不仅无法实现全光纤系统,还会形成严重的光能损失。因此,探索和研制光纤偏频元件和光纤偏振控制器,就成了实现全光纤外差检测系统的关键所在。下面简要介绍自行设计和研制的这两个关键光纤元件。

1. 普通单模光纤偏频器

如图 2 所示,光纤偏频器的外形为空心圆柱体,普通单模光纤均匀地绕在圆柱体上,一压电换能器固定在圆柱体顶部,在激励电压的作用下,将沿圆柱体轴线方向发出声波。

绕在圆柱体上的普通单模光纤由于受到弯曲,将产生模式双折射,这意味着,在光纤中传播的光对应于慢轴和快轴方向,存在着两个互相垂直的偏振模^[2]。如果两偏振模的折射率差为

Δn , 则光在光纤中传播时, 此两偏振模经拍长 $L_b = \lambda/\Delta n$ 后, 将增加 2π 的相位差 (λ 为光的波长)。当双折射光纤受到空间周期为 L_b 的周期性应力时, 光功率能从一个偏振模耦合到另一个偏振模^[3]。在图 2 所示的装置中, 周期性应力由于拍长相匹配的声波产生, 由一个偏振模耦合到另一个偏振模的光频率将产生频移, 其频移量为声波频率, 亦即压电晶体换能器激励电压的频率, 以上即为普通单模光纤频率偏移器的基本原理。

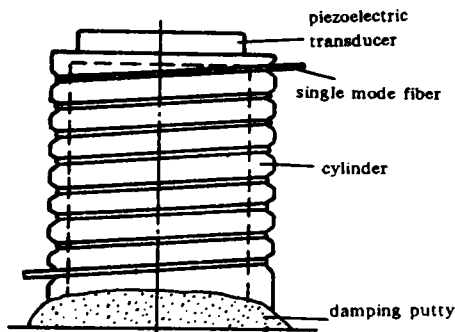


Fig. 2 Schematic diagram of optical fiber frequency shifter

实验结果表明, 基于上述原理设计研制的光纤偏频器, 能很好的实现较低频率 (1~4MHz) 的频率偏移^[4]。

2. 普通单模光纤偏振控制器

由于普通单模光纤因弯曲而产生双折射, 使互相垂直的两偏振模通过一定长度的弯曲单模光纤后, 彼此间产生一定的光程差, 从而使出射光的偏振态发生变化。如果两偏振模经弯曲光纤后产生的光程差, 分别为入射光的波长、半波长和四分之一波长, 则该段弯曲光纤在光路中起的作用与晶体全波片、半波片及四分之一波片等效, 我们将能起波片作用的弯曲光纤称为“单模光纤波片”。可根据激光的波长及光纤参数来设计具有一定弯曲半径和圈数的单模光纤波片^[4]。

在实际使用中, 可以转动单模光纤波片的线圈平面来控制光的偏振状态。当线圈平面转动时, 将转动光纤线圈双折射的主轴方位, 其作用与普通波片的转动是完全类似的。当光纤圈

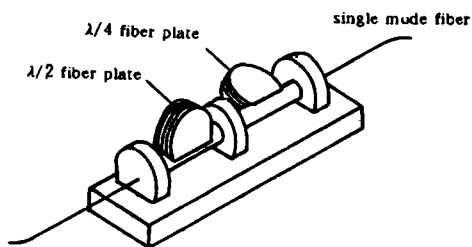


Fig. 3 Schematic diagram of optical fiber polarization controller

是个半波片时, 线圈平面转过 α 角将使入射的线偏振光通过线圈后转过 2α 角, 即如果半波片光纤圈有 $\pm 45^\circ$ 的转动自由度, 则可控制出射线偏振光在 $\pm 90^\circ$ 范围内转动; 当光纤圈是四分之一波片时, 在线圈平面转动 180° 的过程中, 将使出射光两次成为线偏振光, 两次成为圆偏振光, 在一般位置为椭圆度不等的椭圆偏振光。因此, 如果在光纤光路中串接一个半波片光纤圈和四分之一波片光纤圈, 则可调节这些光纤圈的转角, 得到任意状态的出射偏振光。图 3 为普通单模光纤偏振控制器示意图。

四、实际的全光纤外差检测系统及实验结果

图 4 为实际的全光纤外差检测系统, 它实际上是由普通单模光纤构成的 Mach-Zehnder 干涉系统, 其一个臂中包含有单模光纤偏频器, 在两臂中均串接有单模光纤偏振控制器以实现两路光纤输出光的偏振态控制。

在该系统中, 普通单模光纤偏频器的频移量设计在 1MHz。实验结果表明, 只要选择合适的光电探测器, 两输出光束严格对准, 光纤偏振控制器调整得当, 光电探测器的输出信号经放

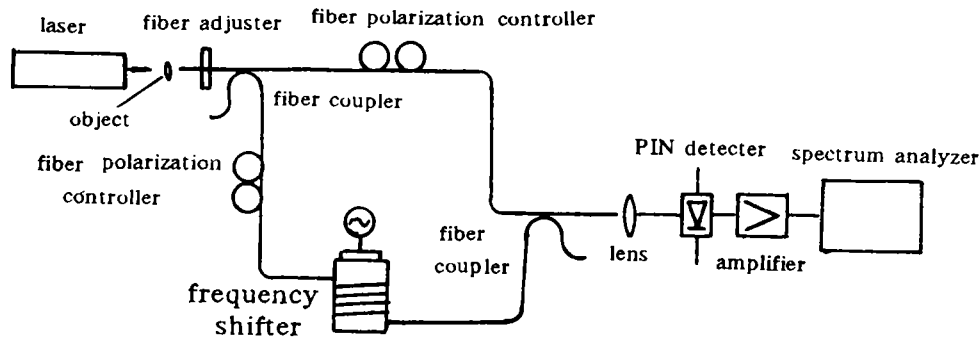


Fig. 4 All fiber optical heterodyne technique

大后,在示波器上或在频谱分析仪上均能观察到很理想的频率为1MHz的外差信号,如图5所示。

光电探测器的正确选择对获得外差信号是很重要的。在频率较高的光外差系统中,用光电倍增管作探测器并不合适,因为其响应频率低,选择PIN半导体光电二极管作探测器较理想,其特点是响应时间很短,可达1ns左右,体积很小,而且只需一般的低压直流电源。

根据光外差探测的空间条件^[5],由光纤出射的两干涉光束的夹角 θ 应满足以下条件:

$$\sin\theta < \frac{\lambda}{\pi d} \quad (5)$$

式中, d 为探测器的光敏面直径,对PIN光电探测器

一般为0.5mm左右。在我们的实验系统中,激光波长为0.6328 μm ,则应有 $\theta < 0.002^\circ$,说明在光外差系统中,对两束出射光的平行度要求是极高的,如果在Mach-Zehnder光外差干涉系统的输入和输出部分不采用3dB光纤耦合器,而采用普通的分束器,则必须采用高精度的光学调整装置,仔细调整,使两出射光束严格的重合平行。这是在实际系统中光外差探测的关键之一。

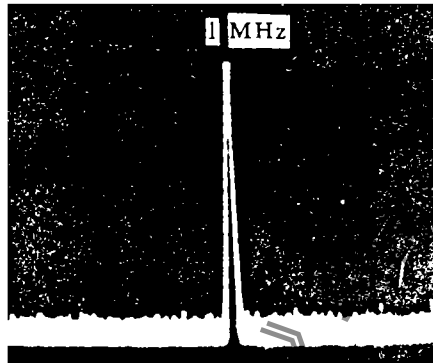


Fig. 5 Optical heterodyne signal on spectrum analyser traces-showing

五、结 论

1. 以新颖的光纤偏频器和光纤偏振控制器取代常规的光学元件,是实现外差系统全光纤化的关键所在。

2. 采用PIN半导体光电二极管,能很好的实现高频光外差检测,并能使系统小型化,价格低廉。

3. 在实际系统中,要获得良好的光外差信号,在外差干涉系统的输出光路部分,应采用光纤耦合器或精密调整装置来保证两光束严格平行重合。

参 考 文 献

- 1 梁铨廷. 物理光学. 北京:机械工业出版社,1987:320~323
- 2 Lefevre H C. Electron Lett, 1980;6:778~780

激光医疗应用新进展

阎吉祥 李家泽 高春青

(北京理工大学工程光学系,北京,100081)

摘要: 综述了激光在医疗领域中应用的一些最新进展,既包括以“经典”机理为基础的,也包括以光子动力学为基础的,特别强调了二极管激光器的应用前景。

关键词: 激光医疗 光子动力学 二极管激光器

New advances of laser medicine

Yan Jixiang, Li Jiaze, Gao Chunqing

(Beijing Institute of Technology)

Abstract: This paper surveys the main advances in this area of laser medicine in recent years. Including that based on “classical mechanism” and based on the photodynamics. Especially, the application prospect of laser diode in laser medicine is emphasized.

Key words: laser advances photodynamics laser diode

一、引言

自从激光器问世以来,它在两个看上去有些对立的应用领域的研究受到高度重视。一方面,人们用它制造威力巨大的杀人武器,另一方面,又将其用作治病救人的得力工具。随着国际局势总体上和大的方面有所缓和,激光用于武器的研究趋于减少,而在医疗领域应用的研究则与日俱增。

3 Youngquist R C, Brooks J L, Shaw H J. Opt Lett, 1983;8:656~658

4 向永江. 光学学报. 1990;10(1):79~83

5 方如章,刘玉凤. 光电器件. 北京:国防工业出版社,1988;337~338

* * *

作者简介:向永江,男,1939年出生。副教授。1987~1988年赴丹麦科技大学作为访问教授从事光纤传感器的科研工作及学术技术交流。现主要从事激光测试及光纤传感器的科研及指导研究生工作。