

基于双折射效应的普通单模光纤 频率偏移器和偏振控制器

向 永 江

(南京航空学院自动控制系)

提 要

本文介绍了利用普通单模光导纤维弯曲产生的双折射效应而研制成的频率偏移装置和偏振控制装置。频率偏移装置的单边带抑制达 30 dB 以上,它与光纤偏振控制装置一起是构成全光纤功能型传感器比较理想的光纤元件。

关键词: 双折射; 单模光纤; 声光耦合; 相位匹配; 偏振。

一、引 言

为了实现全光纤传感器,近年来人们对利用光导纤维构成频率偏移器和偏振控制器进行了许多理论研究和实际研制。本文介绍利用普通单模光纤在弯曲时产生的双折射效应,而研制成的光纤声光频率偏移器和偏振控制器。

二、单模光纤由弯曲而引起的双折射

普通单模光纤在弯曲状态下,弯曲部分的光纤材料将由各向同性介质变为各向异性介质而具有双折射性质。如图 1 所示。将普通单模光纤弯曲成具有曲率半径为 R 的弧形,由光弹理论可知,光纤材料沿 $x'o'$ 轴 $y'y''$ 轴方向的折射率将受影响,而沿 $z'z''$ 轴方向的影响则可忽略不计,由于光纤弯曲产生的应力使光纤材料成为各向异性而引起线性双折射,从而使在光纤中传播的线偏振光分解为两个正交的偏振模,它们分别对应于两个互相正交的主轴:一为快轴 $x'o'$,对应于非寻常光;另一为慢轴 $y'y''$,对应于寻常光,这两个偏振模在光纤中以不同的速度传播,沿快轴方向的偏振模的传播速度比沿慢轴方向偏振模的传播速度略快,与未弯曲光纤材料的折射率 n 相比,折射率变化为^[1]

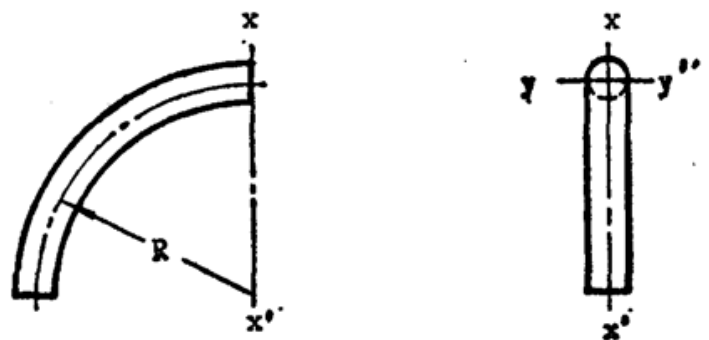


Fig. 1 Geometry of the bent fiber

$$\left. \begin{aligned} \Delta n_x &= \frac{n^3}{4} (P_{11} - 2\sigma P_{12}) \left(\frac{r}{R}\right)^2, \\ \Delta n_y &= \frac{n^3}{4} (P_{12} - \sigma P_{12} - \sigma P_{11}) \left(\frac{r}{R}\right)^2, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 r 为光纤半径, σ 为光纤材料的泊松比, P_{11} 和 P_{12} 为光弹系数, 对硅材料的单模光纤可采用以下数值: $\sigma=0.16$, $P_{11}=0.121$, $P_{12}=0.270$, $n=1.46$, 因此

$$\left. \begin{aligned} \Delta n_x &= n_e - n = 0.027 \left(\frac{r}{R}\right)^2, \\ \Delta n_y &= n_o - n = 0.16 \left(\frac{r}{R}\right)^2, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 n_e 和 n_o 分别对应于非寻常光和寻常光的折射率, 则它们的折射率差为

$$\delta n = -a \left(\frac{r}{R}\right)^2, \quad a = 0.133, \quad (3)$$

两正交偏振模经光纤拍长 L_b 将产生 2π 的相位差, $L_b = (\lambda/\delta n)$, λ 为光的波长。

上述由光纤弯曲所致的双折射效应与晶体的双折射效应相比是较小的, 但当光纤被绕成若干圈时, 沿光纤弯曲路径累积起来的这种弯曲双折射效应就变得较为明显。选择一定的圈数 N 和弯曲半径 R 就可得到两偏振模之间的总相位延迟为 π 、 $\pi/2$ 或 $\pi/4$, 它们在光路中所起的作用相当于由晶片制成的 $(\lambda/2)$ 波片, $(\lambda/4)$ 波片或 $(\lambda/8)$ 波片。我们得到下面的关系式为

$$|\delta n| 2\pi N R(m, N) = \frac{\lambda}{m}, \quad (4)$$

式中 R 是 m 和 N 的函数, 对 $(\lambda/2)$ 波片、 $(\lambda/4)$ 波片或 $(\lambda/8)$ 波片, m 分别为 2、4 或 8。将 (3) 式代入 (4) 式得:

$$R(m, N) = \frac{2\pi a r^2}{\lambda} N \cdot m_0. \quad (5)$$

三、基于光纤弯曲双折射效应的声光频率偏移器

图 2 为单模光纤声光频率偏移器的示意图, 其外形为一半径为 R' 的空心圆柱体, 在圆柱体上刻有节距为 h 的螺旋形凹槽, 普通单模光纤均匀地绕在螺旋槽内, 在圆柱体的顶上固定有一压电晶体换能器, 它由电压信号发生器所驱动, 信号发生器的频率调到与压电晶体厚度方向的谐振频率一致, 使压电晶体产生谐振而沿圆柱体方向发出声波。

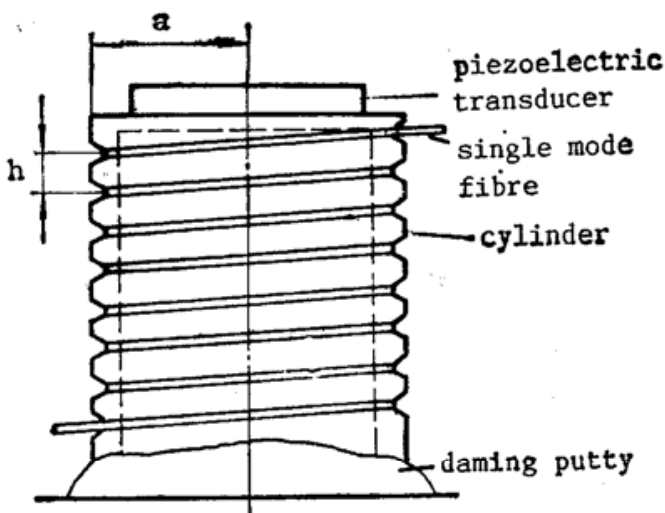


Fig. 2 Schematic diagram of single-mode fiber frequency shifter

由于普通单模光纤绕制在圆柱体上, 从而因弯曲产生双折射效应, 已经证明^[3]当双折射光纤受到空间周期为光纤拍长 L_b 的周期性应力时, 一个偏振模的光功率能相干耦合到另一个偏振模。在图 2 所示的装置中, 周期性应力是由声波产生的, 当该声波的空间

周期与光纤拍长 L_0 匹配时, 从一个偏振模耦合到另一个偏振模的光频将产生偏移, 其偏移量为声波的频率, 亦即压电晶体厚度方向的谐振频率。相位匹配条件为

$$\frac{V_a}{f_a} = L_0 \sin \alpha, \quad (6)$$

式中 V_a 是声波沿圆柱体壁方向的传播速度, f_a 为声波频率, α 为声波波前与光纤之间的角度。在圆柱体上光纤绕组的节距为

$$h = \tan \alpha \cdot (2\pi R'). \quad (7)$$

方程(3)、(6)和(7)是设计光纤声光频率偏移器的基本公式。

我们设计了一个具有以下具体参数的光纤声光频率偏移器: 单模光纤的敷层半径 r 为 $125 \mu\text{m}$, 光源为半导体激光二极管, 波长 λ 为 830 nm , 圆柱体的材料为铝、声波在铝中的传播速度为 5200 m/s , 压电晶体传感器为直径 25 mm 的薄圆片, 其厚度方向的谐振频率为 1 MHz , 由设计得的圆柱体结构参数为: 圆柱体半径为 16 mm , $\alpha = 2.92^\circ$, $h = 5.128 \text{ mm}$ 。该频率偏移器的频率偏移值在理论上应等于压电晶体换能器的谐振频率 1 MHz 。

四、装置与实验结果

1. 测试装置

图3为测试该频率偏移器性能的外差系统, 该系统是一马赫-陈德尔干涉仪。频率偏移器位于干涉仪的一个臂中, 另一臂光纤中的光束频率由布喇格元件偏移了 150 MHz 。偏振控制器用来调整光束的偏振方向, 隔离器用于防止光反馈回半导体激光器, 使激光器工作稳定。

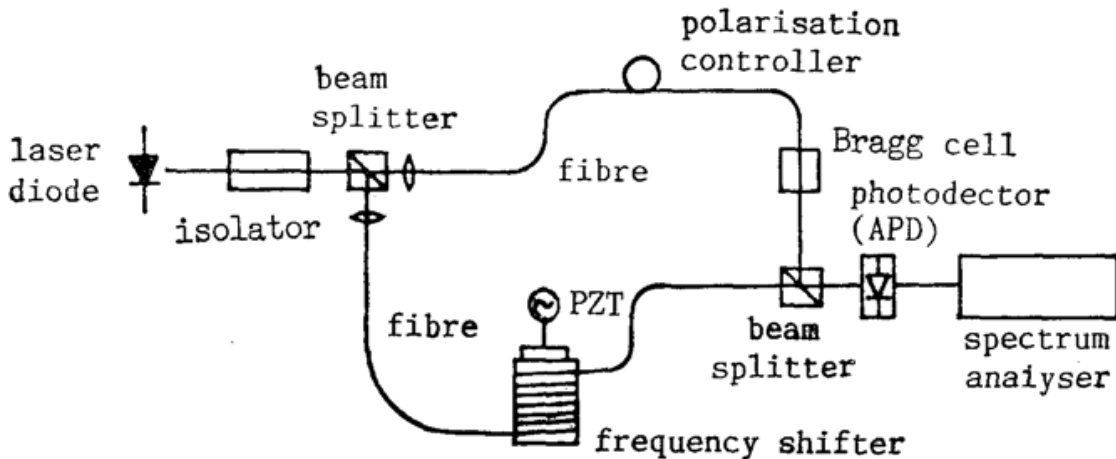


Fig. 3 Heterodyne interferometer for evaluation of frequency shifter

2. 实验结果及解释

图4是从频谱分析仪上拍摄下来的声光频率偏移器的实验结果, 在频率为 1 MHz 上实现了不希望边带的 30 dB 抑制, 即实现了光频的上移或下移了 1 MHz , 与理论设计完全相符。测得单边带信号带宽(3 dB 线宽)近似为 30 kHz 。

在研制光纤声光频率偏移器时发现, 光纤与圆柱体壁是否接触良好将大大影响声光耦合效率, 因此在圆柱体上绕制光纤时应采用某种手段使光纤与圆柱体壁有良好的接触, 此外应保证圆柱体壁上螺旋槽深大于光纤直径, 使光纤绕组能嵌于圆柱体壁内。

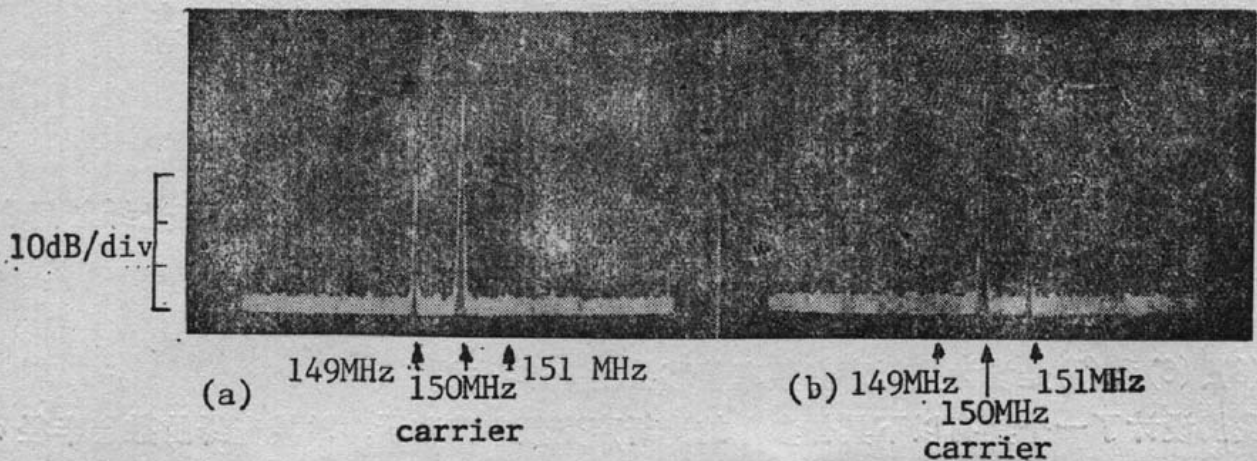


Fig. 4 Spectrum analyser traces-showing

(a) upper sideband suppressed by 30 dB; (b) lower sideband suppressed by 30 dB

3. 光纤偏振控制器的设计

所需的边带信号可借助于调整($\lambda/2$)波片或单模光纤偏振控制器来选择, 在本试验中, 应用方程(5)设计了起半波片作用的光纤偏振控制器, 它位于马赫-陈德尔干涉仪的一个臂中, 其具体参数为: $r=125\ \mu\text{m}$, $\lambda=0.830\ \mu\text{m}$, $N=1$, $R'=3.15\ \text{cm}$ 。调整光纤偏振控制器线圈方位, 很方便的实现了不同边带信号的选择。

上述两光纤元件的特点是设计和制作简单, 尺寸小, 实验结果表明, 性能与理论设计相符, 该两元件的性能同样在可判别速度方向的金光纤激光多普勒测速仪方案试验中得到了验证。

本研究课题是作者 1987 年在丹麦技术大学光纤通信研究所完成的, 在进行过程中得到了该研究所技术和设备上的大力支持。

参 考 文 献

- [1] H. O. Lefevre; *Electronics Lett.*, 1980, 6, 778~780.
- [2] B. G. Youngquist, J. L. Brooks *et al.*; *Opt. Lett.*, 1983, 8, No. 8 (Aug), 656~658.

Frequency shifter and polarisation controller based on birefringence of bending ordinary single-mode fibre

XIANG YONGYIANG

(Auto-Control Department, Nanjing Aeronautical Institute)

(Received 14 November 1988; revised 30 July 1989)

Abstract

A frequency shifter and a polarisation controller are described in this paper, which are based on birefringence induced by bending ordinary single-mode fibre. 30 dB suppression of the unwanted sideband has been achieved in the frequency shifter. Two fibre devices can be used in functional optical fibre sensors as an attractive fibre devices for whole fibre sensors.

Key words: birefringence; single-mode fibre; acoustic-optic coupling; phase match; polarisation.