

带 PZT 相移控制器的光纤干涉系统

郑光昭

(广东工业大学 信息工程学院, 广东 广州 510643)

摘要:简要介绍带 PZT 相移控制器的光纤干涉系统的组成部分,介绍该系统的干涉原理、PZT 移相原理以及光纤干涉仪的检测原理,并提出一种应用相移技术检测不随时间变化的非调制待测量信号的方案。

关键词:马赫-詹德尔干涉仪;光纤干涉系统;PZT 相移控制器

中图分类号: TN247

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2002)04-0034-04

马赫-詹德尔(Mach-Zehnder)干涉仪(简称 M-Z 干涉仪)是一种用途很广泛的干涉仪^[1]。其优点一是能把光束分得较开,二是能使干涉条纹定位在任意平面上。带 PZT 相移控制器的光纤干涉系统实质上是半光纤型马赫-詹德尔干涉仪。它采用马赫-詹德尔干涉仪光路,以光纤作参考光臂,以空间作为信号光臂。这种结构的优点是在参考光臂中很容易进行两光路光程差的调整,易于在信号光臂中引入不同的研究对象而有利于开展科学研究。而采用 PZT 相移控制器控制相移量可以方便地进行光程的微调。

本文拟简单介绍带 PZT 相移控制器的光纤干涉系统的组成部分、工作原理及其检测原理,并提出一种应用相移技术检测不随时间变化的非调制待测量信号的方案。

1 光纤干涉系统的组成部分

如图 1 所示,光纤干涉系统主要包括:①He-Ne 激光器,②分光镜,③带 PZT 相移控制器的保偏光纤,④输入端,⑤输出端,⑥反射镜,⑦分光棱镜,⑧过半球扩束镜,⑨漫射屏,⑩PZT 相移器电源等组成部分。

2 光纤干涉系统工作原理

光纤干涉系统的工作原理包括干涉原理和 PZT 移相原理。

1) 干涉原理

如图 1 实验光路,He-Ne 激光器 1 射出的激光束经分光镜 2 分为两束。其中一束光经过两个反射镜两次反射后入射在分光棱镜上,并透过分光棱镜射向过半球扩束镜 8;另一束通过带

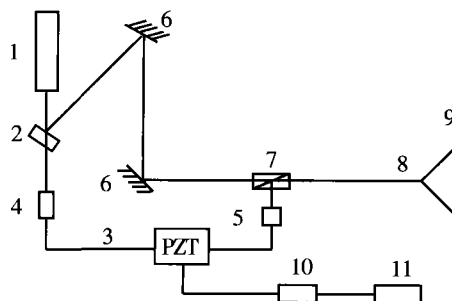


图 1 带 PZT 相移器的光纤干涉系统

收稿日期:2002-01-08

基金项目:广东工业大学校级重点学科基金资助项目(XZ200102);广东省现代信息技术实验室,实验室建设项目;《广州仪器仪表学会 2001 年会及学术报告会》宣读论文。

作者简介:郑光昭(1945-),男,教授,主要研究方向为信息光学、光检测技术。

PZT相移控制器的光纤也入射到分光棱镜上,被分光面反射后射向过半球扩束镜8.这两束光入射到分光棱镜的方向互相垂直,通过分光棱镜后重合在一起产生干涉,形成非定域干涉条纹,从而可在漫射屏上观察到干涉条纹.

在实验中,通过改变PZT电源的输出电压(用手动或由计算机设定)来改变光纤的光程,从而可以在观察屏上观察到干涉条纹的移动.根据移动条纹数就可以算出相移量或程差.

2) PZT 移相机理

PZT相移器的移相机理是:将光纤绕在一管状PZT上,利用PZT的逆压电效应,当通过直流电压时,PZT管会沿直径方向膨胀或缩小,也就是其外径会产生变化.这就使绕在它上面的光纤会产生长度的变化而使其光程也产生变化,从而导致干涉条纹也随之变化.

将相移器电源分别与光纤上的PZT相移器以及计算机连接.可以通过计算机控制或手动控制,改变相移器电源的输出电压,也就是改变加在PZT上的电压,从而改变相移量.此时可在漫射屏上观察到干涉条纹的相应变化.

3 检测原理

设从M-Z干涉仪的两臂射出的相干光分别用 e_1 、 e_2 表示^[2],即:

$$e_1 = E_1 \exp\{i[\omega_1 t + s(t) + \Phi_s]\},$$

$$e_2 = E_2 \exp\{i[\omega_2 t + \Phi_r]\},$$

式中 e_1 表示信号臂光波, $s(t)$ 是待测场引起的相位调制, Φ_s 表示固定相位延迟; e_2 表示参考臂光束, Φ_r 表示相应的固定相位延迟.当这两束光经分光棱镜组合在一起时,满足干涉条件,产生干涉条纹.这时光电探测器光敏面上的合成光波可写为

$$e(t) = \{E_1 \exp[i(s(t) + \Phi_s)] + E_2 \exp[i(\Delta\omega t + \Phi_r)]\} \exp[i\omega_1 t],$$

式中 $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 \leq (\omega_2, \omega_1)$.

因此,光电探测器的输出电流为

$$i(t) \propto i_0 [1 + k \cos(\Delta\omega t + s(t) + \Phi_s - \Phi_r)],$$

式中 k 为比例系数, $k \leq 1$.若 $E_2 = E_1$,则 $k = 1$.

光电探测器输出电流的交流分量为

$$i(\tilde{t}) \propto \cos[\Delta\omega t + s(t) + \Phi_s - \Phi_r],$$

要提取的信号是式中的 $s(t)$.显然,提取 $s(t)$ 的方法与 $\Delta\omega$ 有关:当 $\Delta\omega \neq 0$ 时,称为外差检测;当 $\Delta\omega = 0$ 时,称为零差检测.在许多实用情况中,信号臂和参考臂光波频率相同,即: $\Delta\omega = 0$.这时检测器输出的电压信号为

$$V(\tilde{t}) \propto \cos[\Delta\omega t + s(t) + \Phi_s - \Phi_r],$$

显然,如果使 $\Phi_s - \Phi_r = \frac{\pi}{2}$,则

$$V(\tilde{t}) \propto \sin(s(t)).$$

当 $s(t) \leq 1$ 时,则

$$V(\tilde{t}) \propto s(t),$$

即:输出交流电压信号正比于相位调制信号.可见,由输出交流电压信号可以检测出待测场引起

的相位调制信号,从而可进一步推算出待测场的变化.

4 利用相移技术检测非调制量

若待测场不随时间而变,仅为引起固定的相位延迟非调制量.在这种情况下,信号光臂输出光场 e_1 中的 $s(t)$ 不随时间而变,记: $s(t) + \Phi_s = S_0$,

这里 S_0 是待测场引起的固定的相位延迟.这时光电探测器的输出电流为

$$i(t) \propto i_0 [1 + k \cos(\Delta\omega t + S_0 - \Phi_s)],$$

式中 k 为比例系数, $k \leq 1$. 若 $E_2 = E_1$, 则 $k = 1$.

在 $\Delta\omega = 0$ 的情况下,检测器输出的电压信号为

$$V(t) \propto [1 + \cos(S_0 - \Phi_r)],$$

可进一步表示为

$$V(t) = K[1 + \cos(S_0 - \Phi_r)].$$

待测场引起的固定的相位延迟 S_0 可以利用步进移相法来检测.相位的步进可通过 PZT 相移控制器来实现.若取步进量 $\Delta\Phi_r = \pi/2$,步数为 4,且 Φ_r 的初始值取为 0,则有

$$\Phi_r = j \cdot \pi/2, \quad j = 0, 1, 2, 3;$$

于是

$$V_0 = K[1 + \cos S_0],$$

$$V_1 = K[1 + \cos(S_0 - \pi/2)] = K[1 + \sin S_0],$$

$$V_2 = K[1 + \cos(S_0 - \pi)] = K[1 - \cos S_0],$$

$$V_3 = K[1 + \cos(S_0 - 3\pi/2)] = K[1 - \sin S_0],$$

从而有

$$\operatorname{tg} S_0 = (V_1 - V_3) / (V_0 - V_2),$$

因此 $S_0 = \arctan[(V_1 - V_3) / (V_0 - V_2)]$,

由相位延迟 S_0 即可推算出待测的非调制量.

5 讨论

光纤干涉系统中参考臂光束中的固定相位延迟 Φ_r 可由 PZT 移相器调整控制.在事先测定 PZT 移相器的移相特性的基础上,掌握器 PZT 相移量与输入电压的关系,就可以方便地根据不同需要来调整 Φ_r .

信号光臂输出光场 e_1 中的 $s(t)$ 是待测场引起的相位调制.产生光纤相位调制的因素可以是待测物理量(如:声学量、力学量、电磁量、温度等)的变化.由于敏感的物理因素很多,因此可以断言,带 PZT 移相器光纤干涉系统可测的物理量具有较大的灵活性.

除了用光电探测器检测出待测信号方法之外,还可以用眼睛观察或用条纹计数器来检测.这时,由光纤干涉系统的两臂输出的两路光由分光棱镜重叠在一起出射后产生干涉条纹(静态作用).在动态作用下,干涉条纹产生移动,记录干涉条纹的变化数,就可测出相应的相位变化,达到检测待测参量的目的.

用眼睛观察或用条纹计数器来检测主要是通过提取第纹的中心线确定整数级条纹的位置,非条纹中心处的条纹级数需要通过插值、拟合才能得到,其精度约为 $1/2 \sim 1/4$ 级.而相移技术

则以条纹图中的余弦函数的位相为测量对象,通常是在条纹位相上附加一个已知相移量来增加方程数,使方程数大于或等于未知量数来解出位相值,其精度受相移器的精度的影响.位相检测方法的理论灵敏度远大于普通的条纹分析方法,前者大约是后者的几百倍.但是,由于各种客观实验条件的限制,一般情况下,位相检测方法实际能达到的灵敏度在 $\lambda/40 \sim \lambda/100$ 之间.

综上所述,带 PZT 移相器光纤干涉系统采用 M-Z 干涉仪光路,以光纤作参考光臂,以空间作为信号光臂,使我们有可能在信号臂方便地置入或更换待测试样本,引入不同的研究对象,开展各种不同的科学研究,因此该系统可应用于多种不同领域,其用途广泛;由于采用 PZT 相移控制器可以很方便、灵活地进行参考光臂光程的微调整,而且灵敏度很高.

参考文献:

- [1]吴震.光干涉测量技术[M].北京:中国计量出版社,1995.89.
- [2]安毓英,曾小东.光纤传感与测量[M].北京:电子工业出版社,2001.205-206.

The Optical Fiber Interferometer with PZT Phase-shift Controller

ZHENG Guang-zhao

(Faculty of Information Engineering, GDUT, Guangzhou 510643, China)

Abstract: This paper presents a brief introduction to the composition of the optical fiber interferometer with PZT phase-shift controller. It expounds the interferometry principle of the fiber interferometer, and presents a method of surveying non-modulation quantity using phase-shift technique.

Key words: Mach-Zehnder interferometer; optical fiber interferometer; phase-shift controller with PZT