

零差法测量合成孔径激光雷达光纤激光器调频器件的形变以及频响特性

来 志^{1,2} 曾晓东² 范照晋² 党文佳²

¹电子工程学院 脉冲功率激光技术国家重点实验室 安徽 合肥 230037

²西安电子科技大学物理与光电工程学院 陕西 西安 710071

摘要 合成孔径激光雷达系统中光源的参数对整个系统设计乃至后期信号处理算法研究是十分重要的。在使用全光纤激光器作为系统光源时,需要对可调谐全光纤调频激光器调频器件的位移输出和频率响应特性进行研究测试,采用零差法直接测量管状压电陶瓷在不同频率锯齿波的调制信号驱动下的管周长变化。通过零差信号波形可以直观反映管状压电陶瓷的频率响应特性。该方法操作简单,通过对一管状压电陶瓷的测量,证明实验与理论相对吻合。

关键词 测量;零差法;光纤激光器;调谐

中图分类号 TN247 文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS201535.s214004

Homodyne Detection of Deformation and Frequency Response of PZT Pipe on Fiber Bragg Grating in Tunable Laser of Synthetic Aperture Ladar

Lai Zhi^{1,2} Zeng Xiaodong² Fan Zhaojin² Dang Wenjia²

¹ State Key Laboratory of Pulsed Power Laser Technology, Electronic Engineering Institute, Hefei, Anhui 230037, China

² School of Physics and Optoelectronic Engineering, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China

Abstract The parameters of light source in synthetic aperture ladar (SAL) is very important to both the design of system and the signal processing algorithm. As the light source in the SAL, the fiber laser uses PZT stretching the fiber Bragg grating in order to tune the laser frequency. So it is necessary to obtain the deformation and frequency response of PZT pipe driven by sawtooth voltage of different periods. Accordingly, the homodyne detection is used to measure the girth variation of PZT. Meanwhile, the frequency response of PZT can be viewed with the homodyne signal. The results from measuring the PZT pipe show that the method can work well.

Key words measurement; homodyne; fiber laser; tuning

OCIS codes 140.3600; 060.2920; 060.2630

1 引 言

将合成孔径技术应用在光波段已经成为近年来的热点^[1-5]。在合成孔径激光雷达系统中,一方面要达到高的分辨率,需要大频率带宽的窄脉冲来实现;另一方面,为了便于目标探测,需要辐射信号源具有大的时宽来保证能量,所以信号源应该具有大时宽带宽积(TBP),它是带宽与脉冲持续时间的乘积,通过线性调频的方式使得辐射信号源在发射端具有大时宽同时在接收端通过脉冲压缩获得大的带宽,可以兼顾时宽和带宽这两方面的需要来获得大时宽带宽积。在当前单频可调谐激光技术研究领域,全光纤激光器^[6-8]调谐已经成为合成孔径激光雷达系统中光源的重要选择而受到越来越多国内外研究人员的重视。

收稿日期: 2015-01-14; 收到修改稿日期: 2015-03-12

基金项目: 中央高校基本科研业务费(JB140517)、脉冲功率激光技术国家重点实验室开放基金(SKL2014KF04)

作者简介: 来志(1983-),男,博士,副教授,主要从事激光调频与光电探测方面的研究。E-mail: zlai@mail.xidian.edu.cn

全光纤激光器由于增益带宽很大,通过加入可调谐滤波元件就可以实现频率调谐。光纤光栅作为调谐装置广泛应用于光纤激光器的频率调制,其物理基础是光纤光栅的对应变和温度的敏感,使用压电陶瓷进行调制是普遍采用的方法,其前提是对压电陶瓷的形变特性的测量与控制,所以对调制用压电陶瓷在逆压电效应时的输出特性研究就显得至关重要。

本文采用零差法对管状压电陶瓷的形变进行研究。将光纤紧密缠绕在压电陶瓷管上,增加驱动电压时压电陶瓷管的半径增大,使得周长增加,转化为对每匝光纤拉伸导致的光纤长度变化。通过增加光纤缠绕的匝数,实现微位移的线性放大,提高测量精度,通过测量零差信号的波形,可以获得压电陶瓷管的频响特性。

2 测量原理

零差法双光束干涉测量装置如图 1 所示。激光器发出激光由耦合器分为两束进入两等长光纤臂,其中一臂紧密缠绕在待测管状压电陶瓷上。在无应力状态,无初始形变的前提下,当压电陶瓷上电压缓慢增加,即驱动锯齿波电压频率较低时,压电陶瓷的形变即周长变化 l_0 为

$$l_0 = 2\pi \times d_{33} \times V, \quad (1)$$

式中 d_{33} 为陶瓷逆压电系数,此时,陶瓷上的信号光光纤臂的长度变化与陶瓷管周长变化的关系为

$$\Delta L_{(v)} = n \times l_0, \quad (2)$$

式中 n 为管状压电陶瓷上的光纤匝数。因此有

$$\Delta L_{(v)} = n \times 2\pi \times d_{33} \times V. \quad (3)$$

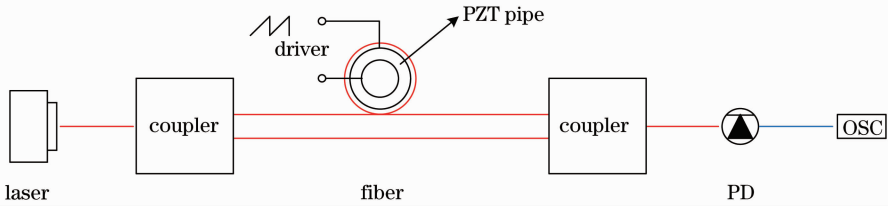


图 1 测量装置示意图

Fig. 1 Schematic of experimental setup of measurement

由物理光学^[9]可知,由于图 1 所示干涉装置没有改变参考光纤臂中的激光频率,其干涉臂之间的光程差变化只是由臂长的变化造成的,所以该装置是一个零差光纤干涉仪,其干涉信号成为零差信号。该干涉仪输出端探测器(PD)上的光强度 I 满足:

$$I = I_0 (1 + \cos \varphi), \quad (4)$$

式中 I_0 为一常数, φ 为两干涉臂中的光相位差,而

$$\varphi = k\Delta L_{(v)} + \varphi_1 + \varphi_2, \quad (5)$$

式中 k 为激光波矢大小, φ_1 、 φ_2 为耦合器之间两干涉臂中激光的固有相位。综合(4)、(5)式可知:

$$I = I_0 \{1 + \cos[k\Delta L_{(v)} + \varphi_1 + \varphi_2]\}, \quad (6)$$

式中 $\Delta L_{(v)}$ 为增大驱动电压时压电陶瓷上光纤长度的总变化量。由(6)式可知,压电陶瓷在电压 V 驱动下使光纤臂伸长一个光波长时,余弦函数的相位变化 2π ,探测器上的光强变化为一个周期的正弦曲线,如图 2 所示,其中 λ 为激光波长。

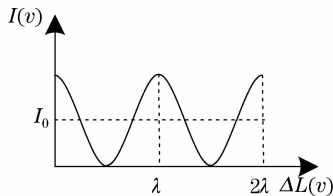


图 2 光纤伸长与探测器光强变化

Fig. 2 Variation of PD signal with fiber elongation

由图 2 可知,通过精确测量确定电压驱动下该段曲线中正弦函数的周期数(不一定是整数),与波长相

乘,可以计算出 n 匝光纤臂被拉伸的长度 $\Delta L_{(v)}$ 。将 $\Delta L_{(v)}$ 和光纤缠绕匝数 n 代入(2)式,即可精确测量此电压下压电陶瓷管的形变 l_0 。

同时,如果探测器上的光强不是正弦变化,则可以说明此时压电陶瓷的形变和驱动电压不是线性关系,即驱动电压与压电陶瓷管形变不具有(3)式所示的线性关系。通过对光强曲线的分析,也可以得到压电陶瓷响应驱动电压的情况。

3 测量实验与分析

压电陶瓷所需激励电压峰值较高,采用 APEX 公司的高压高速线性运算放大器芯片 PA78 对锯齿波信号进行放大,如图 3 所示,该模块^[10]可控制输出信号的直流电平,单端输出时的峰值电压可达 350 V,由 A+ 输出。

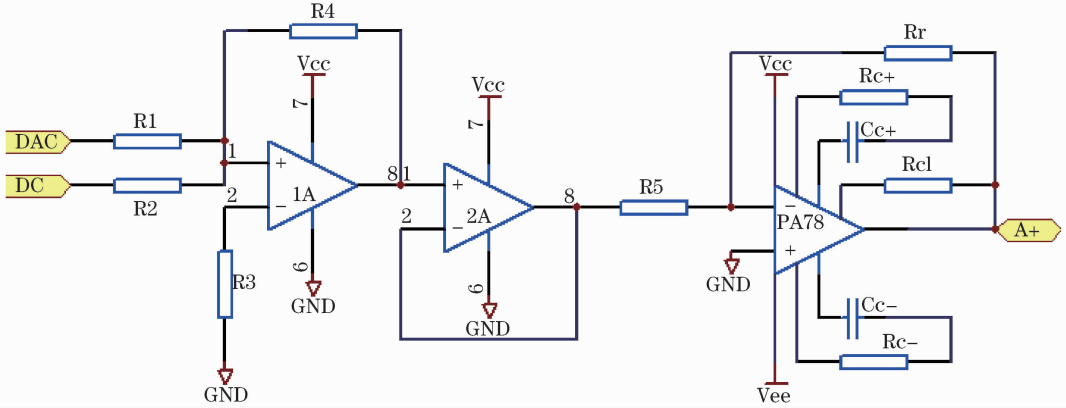


图 3 压电陶瓷驱动模块
Fig. 3 PZT driver module

如图 1 所示测量实验系统,光源为波长为 1064 nm 的 Innolight 公司的 Mephisto 2000 NE 激光器,其相干长度在 1 km 以上,这有效地保证了实验中经过了两个干涉臂之后的两束光的相干性。采用直径为 56 mm 的压电陶瓷环,其逆压电系数 $d_{33} = 403$ pm/V。将光纤用环氧树脂紧密缠绕在陶瓷上,匝数为 $n = 20$ 。

3.1 调制频率 100 Hz 实验测量

由于在合成孔径激光雷达系统中的调频激光器输出为线性调频信号^[10],所以使用升锯齿波电压的驱动波形进行实验。当低频驱动电压加载在压电陶瓷管上,相应的探测器输出波形的正弦波形如图 4(a)所示。此时的驱动电压的调制频率为 100 Hz,驱动电压 60 V,记录 20 组数据,根据测量数据的 3σ 准则^[11],去除离群值取算术平均,通过数据处理获得正弦函数周期数,然后乘以波长,可以获得此时的光纤伸长 $\Delta L_{(v)}$,由

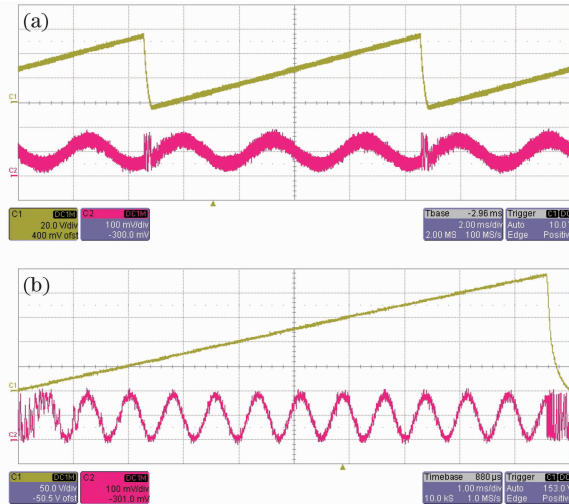


图 4 调制频率 100 Hz 时驱动电压与光电探测器对比图。(a) 60 V; (b) 240 V

Fig. 4 Driver voltage with its frequency of 100 Hz and PD signal. (a) 60 V; (b) 240 V

表 1 实验数据

Table 1 Experimental data

Modulation frequency/Hz	Driver voltage/V	$\frac{\Delta L^{(v)}}{n}$ /nm	Relative error	Theoretical value l_0 /nm
100	60	155.05	1.1%	151.98
100	90	229.53	0.8%	227.97
100	120	301.50	0.9%	303.95
100	150	372.08	0.9%	379.94
100	180	458.02	1.4%	455.93
100	210	529.52	1.3%	531.92
100	240	605.16	1.3%	607.90

(2)式可知,此时压电陶瓷形变(管周长)测量值为 $\frac{\Delta L^{(v)}}{n}$,将数据以及相对误差记入表1。将电压峰峰值增加30 V再记录一组,一直增加到240 V为止,共7组。同时,由(1)式计算不同驱动电压时的压电陶瓷形变的理论值 l_0 作为对照验证。图4(b)为驱动电压为240 V时的相应波形。

由表1中结果可知,由零差光纤干涉仪测量获得的压电陶瓷管的形变 $\frac{\Delta L^{(v)}}{n}$ 与理论值 l_0 吻合。同时说明在较低的调制频率下,压电陶瓷的形变的生长与驱动电压的增长呈线性关系。

3.2 改变调制频率

逐渐增加驱动电压调制频率至1 kHz,如图5所示,无论在较低驱动电压的60 V还是较高驱动电压的240 V,对应驱动电压线性上升的部分中,光电探测器信号为正弦曲线的部分很短。由(6)式可知,在驱动电压增加时,相应的光纤伸长量变化为线性的部分就少。这是由于随着驱动电压调制频率的增加,压电陶瓷是容性负载,对电压信号的高频分量响应不好,因此对驱动电压的响应波形产生畸变。

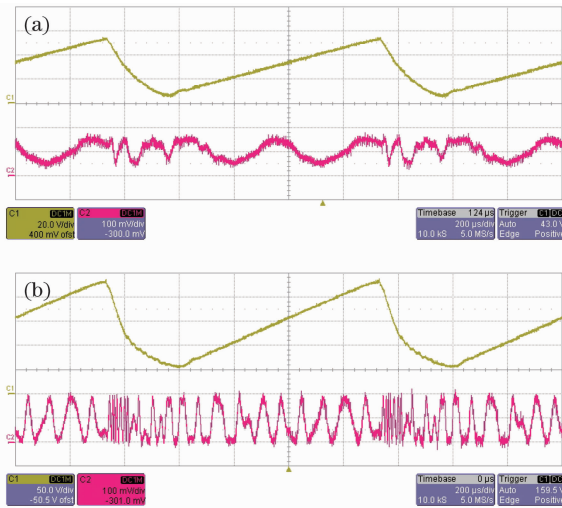


图5 调制频率1 kHz时驱动电压与光电探测器信号对比图。(a) 60 V; (b) 240 V

Fig. 5 Driver voltage with its frequency of 1 kHz and PD signal. (a) 60 V; (b) 240V

4 结 论

压电陶瓷环作为光纤光栅调谐全光纤激光器的实际调谐器件,其工作特性的实际测量有着十分重要的意义。本文所介绍的测量方式中,压电陶瓷环对光纤的形变的作用方式是和其调制光纤光栅时完全一致的,因此使用光纤伸长来描述压电陶瓷管产生的形变(周长变化),该种方法的测量结果对于研究其实际调谐特性有重要作用。将此测量结果可以作为前期参数直接应用于全光纤激光器线性调频的设计。同时采用多匝数缠绕和零差法测量,既保证了精度,又在实际工程中操作简单,易于实现,有一定的工程推广意义。

参 考 文 献

- 1 C C Aleksoff. Synthetic interferometric imaging technique for moving objects[J]. Appl Opt, 1976, 15 (8):1923-1929.
- 2 Liu Liren. 2D Fourier-transform imaging algorithm for synthetic aperture imaging ladars[J]. Acta Optica Sinica, 2014,34(1): 0128001.
刘立人. 合成孔径激光成像雷达的二维傅里叶变换成像算法[J]. 光学学报, 2014, 34(1): 0128001.
- 3 Liu Liren. Principle of self-interferometric synthetic aperture ladar for 3D imaging[J]. Acta Optica Sinica, 2014,34(5):0528001.
刘立人. 自干涉合成孔径激光三维成像雷达原理[J]. 光学学报, 2014, 34(5): 0528001.
- 4 Liu Liren. Principle of down-looking synthetic aperture imaging ladar [J]. Acta Optica Sinica, 2012,32(9):0928002.
刘立人. 直视合成孔径激光成像雷达原理[J]. 光学学报,2012,32(9):0928002.
- 5 Xu Qian, Zhou Yu, Sun Jianfeng, *et al.*. Analysis and synthetic of space-time speckle effect based on synthetic aperture imaging ladar [J]. Acta Optica Sinica, 2013,33(10):1028002.
许 倩,周 煜,孙建锋,等. 合成孔径激光成像雷达时空散斑效应模拟与分析[J]. 光学学报,2013,33(10):1028002.
- 6 Liu J, Shen D, Huang H, *et al.*. High-power and highly efficient operation of wavelength-tunable Raman fiber lasers based on volume Bragg gratings[J]. Opt Express, 2014, 22(6): 6605-6612.
- 7 Feng T, Yan F, Liu S, *et al.*. Switchable and tunable dual-wavelength single-longitudinal-mode erbium-doped fiber laser with special subring-cavity and superimposed fiber Bragg gratings[J]. Laser Phys Lett, 2014, 11(12): 125106.
- 8 Yun B, Hu G, Zhang R, *et al.*. Tunable erbium-doped fiber ring laser based on thermo-optic polymer waveguide Bragg grating[J]. Opt Commun, 2015, 336: 30-33.
- 9 Shi Shunxiang, Zhang Haixing, Liu Jinsong. Physical Optics and Applied Optics[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2000.
石顺祥,张海兴,刘劲松. 物理光学与应用光学[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2000.
- 10 Lai Zhi. Research on Frequency Modulation Laser Techniques in Synthetic Aperture Ladar System [D]. Xi'an: Xidian University,2011: 1-92.
来 志. 合成孔径激光雷达系统调频激光器技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2011: 1-92.
- 11 倪育才. 实用测量不确定度评定[M]. 北京:中国计量出版社, 2008:107-108.

栏目编辑: 何卓铭