

文章编号: 0258-7025(2008)Supplement2-0208-03

# 偏振方位角对光学脉冲磁场传感器灵敏度的影响

王江平<sup>1</sup> 李玉权<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 南京晓庄学院信息技术学院, 江苏 南京 210017; <sup>2</sup> 解放军理工大学通信工程学院, 江苏 南京 210007)

**摘要** 理论分析了光学脉冲磁场传感器中偏振方位角对灵敏度和信噪比的影响, 提出了用偏振方位角的大小来提高脉冲磁场传感器灵敏度的方法。实验结果表明, 当偏振方位角分别为  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$  和  $80^\circ$  时对应的灵敏度为 1.8/T, 1.9/T, 2.9/T 和 4.6/T, 因此增加偏振方位角可提高磁场传感器的灵敏度。实验结果和理论分析相吻合, 验证了此方法的正确性。

**关键词** 脉冲磁场; 光学磁场传感器; 灵敏度; 偏振方位角

中图分类号 TN913.7 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200835s2.0208

## Polarizing Azimuth Angle Effect on Sensitivity of Pulsed Magnetic Field Photonic Sensors

Wang Jiangping<sup>1</sup> Li Yuquan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> School of Information Technology, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing, Jiangsu 210017, China;   
<sup>2</sup> Institute of Communication Engineering, PLA University of Science and Technology, Jiangsu, Nanjing 210007, China

**Abstract** The polarizing azimuth angle effect on sensitivity and the signal-to-noise ratio are theoretically analyzed in polarization pulsed magnetic field sensors. A novel scheme for improving the sensitivity of pulsed magnetic field sensors was proposed. The experimental results show the sensitivity is 1.8/T, 1.9/T, 2.9/T and 4.6/T respectively when the polarizing azimuth angle is  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$  and  $80^\circ$ , so the sensitivity can potentially be considerably improved by setup suitable for the polarizing azimuth angle. The experimental results which agree well with the theoretical analysis prove the validity of this method.

**Key words** pulsed magnetic field; magnetic field photonic sensors; sensitivity; polarizing azimuth angle

## 1 引 言

电磁脉冲测量是电磁脉冲防护的一个重要环节<sup>[1]</sup>。目前, 针对电磁脉冲的测量方法有: 传统的用宽带天线测量脉冲电磁场和基于半导体激光器的有源光纤传输系统测量方法, 采用光学传感的电磁脉冲传感器方法。光学脉冲磁场传感器与传统磁场传感器相比具有高绝缘性、非金属传感头、对电磁噪声不敏感、很宽的测量带宽、很宽的动态范围, 并可实现远距离测量<sup>[1~4]</sup>。基于法拉第(Faraday)效应的

偏振型光学磁场传感器具有光学磁场传感器的优点, 但在磁场传感器实用化的进程中存在灵敏度和准确度低等急需解决的问题。目前解决这些问题的方法主要有三类: 第一类从传感材料入手, 采用高精度退火技术剔除材料中的残余双折射, 但几十年来进展缓慢, 至今未有能达到要求的新型磁光材料出现; 第二类为从隔热和温度补偿方面入手, 隔热的方法能降低光学材料内外的温度梯度, 对于快速变化的环境温度有抵御作用, 但由于光学传感头长期工作在室外, 对于缓慢变化的环境温度, 隔热方法便无

基金项目: 国家自然科学基金(60472007, 60502003)资助项目。

作者简介: 王江平(1965), 女, 博士研究生, 副教授, 主要从事网络与光通信方面的研究。E-mail: jpw\_2006@126.com

导师简介: 李玉权(1944—), 男, 硕士, 教授, 主要从事光通信与传感技术方面的研究。

能为力;第三类方法是从测量原理和结构入手,提高测量精度和灵敏度<sup>[4~7]</sup>。因此,本文针对当前基于法拉第效应的磁场传感器灵敏度不高的问题,理论上分析了偏振型光学脉冲磁场传感器中偏振交角对

灵敏度和信噪比的影响,提出了用偏振交角的大小来提高脉冲磁场传感器灵敏度的方法,并用实验验证了偏振交角对磁场传感器灵敏度的影响。

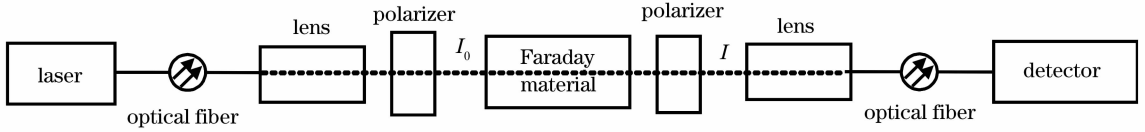


图1 光学磁场传感器的基本原理结构

Fig.1 Principle scheme of optical magnetic field sensor

## 2 理论分析

光学磁场传感器的基本光路原理结构如图1所示。光源发出的光通过起偏器成为线偏振光,在外磁场的作用下经过法拉第传感材料后偏转一定的角度,再经过检偏器后进入信号检测环节。设起偏器和检偏器透光主轴的偏振方位角为  $\psi$ ,  $\rho_F$  为线偏振光经过法拉第传感材料后偏振面旋转的角度,根据马吕斯定律,起偏器的出射光强  $I_0$  与检偏器的出射光强  $I$  之间有如下关系:

$$I = I_0 \cos^2[\psi + \rho_f] \quad (1)$$

为了消除环境温度和光纤受环境振动导致的光源波动的影响,传感器输出计算值  $S$  为输出信号中的交流分量  $I_{AC}$  除以直流分量  $I_{DC}$ 。设外加磁场为一变化的正弦磁场,用贝塞尔(Bessel)函数展开(1)式,可得<sup>[7]</sup>

$$I = \frac{I_0}{2} + \frac{I_0}{2} \{ J_0(2\rho_F) \cos(2\psi) + 2\cos 2\psi \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(2\rho_F) \cos(2n\omega t) - 2\sin 2\psi \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n-1}(2\rho_F) \cos[(2n-1)\omega t] \} \quad (2)$$

对(2)式用一阶谐波归一化,从而可计算出磁场。磁场传感器的输出计算值

$$S = \frac{I_{AC}}{I_{DC}} = \frac{-J_1(2\rho_F) \sin 2\psi \sin \omega t}{0.5[1 + J_0(2\rho_F) \cos 2\psi]} \quad (3)$$

一般情况下,  $\rho_F$  较小,(3)式可简化为

$$S = \frac{I_{AC}}{I_{DC}} = \frac{-\rho_F \sin 2\psi \sin \omega t}{\cos^2 \psi} = -\rho_F 2 \tan \psi \sin \omega t \quad (4)$$

由(4)式可知,分子和分母分别是  $\psi$  变量的函数,但变化的速率不同。当  $\psi$  趋近  $90^\circ$ ,直流项减小的速度比交流项减小的速度快很多。事实上,在(4)式中,分子含有法拉第项,而分母与检测的交流项成比例,

即与  $\cos^2 \psi$  成比例。由上述分析可知,这种速率变化差异的特性可用来改善传感器的信噪比。另外,由于采用了  $I_{AC}/I_{DC}$  的算法,灵敏度的大小为  $2 \tan \psi$ ,可见适当提高偏振交角的大小,可提高磁场传感器的灵敏度。

## 3 实验结果与分析

法拉第磁光材料作为传感元件必须拥有良好的线性、重复性、一致性等传感特性。实验中使用了几种不同的磁光材料,分别为重火石玻璃长度为 29 mm 的重火石玻璃(ZF-6),铽玻璃(Tb),MR-32 以及长度为 7.5 mm 的 MR-4 顺磁性玻璃。实验光路分别由激光器、起偏器、磁光材料、磁场发生装置、检偏器与光电转换一体的接收单元、以及主控单元组成。光源为最大值 5 mW 的可调 He-Ne 激光器。调整磁场的大小,可测出不同磁场和偏振夹角时输出值与磁场的关系。本文给出了长度为 7.5 mm 的 MR-4 顺磁性玻璃的实验结果,如图 2 所示,给出了偏振方位角分别为  $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $70^\circ$  和  $80^\circ$  时,磁场传感器输出值与磁场的实验关系数据曲线。从图 2 中可得当偏振方位角为  $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $70^\circ$  和  $80^\circ$  时,灵敏度分

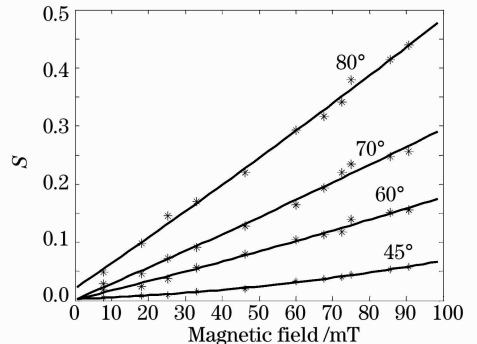


图2 不同偏振方位角时输出值与磁场的关系曲线图

Fig.2 Output response to magnetic field for different polarizing azimuth angle

别为 1.8/T, 1.9/T, 2.9/T 和 4.6/T。可见, 随着偏振交角的增加, 灵敏度也得到了提高。

上述实验很好地证明了偏振交角的合理设置, 可提高磁场传感器的灵敏度。当用其他磁光材料进行实验后, 结果表明实验结论与理论分析也能很好地吻合。

## 4 结 论

理论分析了偏振型光学磁场传感器偏振方位角对灵敏度和信噪比的影响, 提出增加磁场传感器偏振方位角可提高磁场传感器的灵敏度的方法, 实验结果表明, 随着偏振方位角的增加, 灵敏度得到了提高, 实验验证了此方法的正确性。

### 参 考 文 献

1 Wang Jiangping, Liu Jie, Li Yuquan. Study on a pulse

electromagnetic field sensor based on fiber optical sensing [J]. *Sensor World*, 2005, **11**(12):25~28

王江平, 刘杰, 李玉权. 一种基于光纤传感脉冲磁场传感器的研究[J]. *传感器世界*, 2005, **11**(12):25~28

2 Wang Jiangping, Li Yuquan. Evolution of output light SDP in pulsed magnetic field sensor based on Faraday effect [J]. *J. Beijing University of Posts and Telecommunications*, 2007, **30**(5):58~62

王江平, 李玉权. Faraday 效应的脉冲磁场传感器光偏振态的演化[J]. *北京邮电大学学报*, 2007, **30**(5):58~62

3 Natale C. Pistoni, Mario Martinelli. Vibration-insensitive fiber-optic current sensor[J]. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(4):314~316

4 P. R. Forman, F. C. Jahoda. Linear birefringence effects on fiber-optic current sensors[J]. *Appl. Opt.*, 1988, **27**:3088~96

5 Eul Ha Hwang, Byoung Yoon Kim. Pulsed high magnetic field sensor using polymethyl methacrylate [J]. *Meas. Sci. Technol.*, 2006, **17**:2015~2021

6 C. M. M. van den Tempel. Model of a new temperature-compensated optical current using Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub> [J]. *Appl. Opt.*, 1933, **32**(25):4869~4874

7 A. M. Smith. Polarization and magneto-optic properties of single-mode optical fiber [J]. *Appl. Opt.*, 1978, **17**(1):52~58