

· 光电器件与材料 ·

基于双光纤光栅的光学电流互感器设计

张 准¹, 熊建文², 洪应侨², 韦中超¹

(1 华南师范大学信息光电子科技学院, 广东 广州 510631; 2 华南师范大学物理与电信工程学院, 广东 广州 510631)

摘要:通过采用双光纤光栅交叉结构设计的电流互感器,实现了基于方形超磁致伸缩材料和光纤 Bragg 光栅的电流互感器的温度补偿,同时实现了对超磁致伸缩材料受热膨胀带来的光纤 Bragg 光栅中心波长的应变漂移的补偿,提高了基于双光纤光栅的光学电流互感器的测量精度。

关键词:光纤 Bragg 光栅;超磁致伸缩材料;温度补偿;热膨胀补偿;光学电流互感器

中图分类号: TP211+.6; TP212.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255-(2012)02-0034-04

Design of Optical Current Transformer Based on Dual FBG

ZHANG Zhun¹, XIONG Jian-wen², HONG Ying-qiao², WEI Zhong-chao¹

(1. School of Information and Optoelectronic Science and Engineering, South China Normal University, Guangzhou 510631, China; 2. School of Physics & Telecommunication Engineering, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: Using the current transformers designed by the dual fiber Bragg grating (FBG), the temperature compensation based on the square giant magnetostrictive materials and the current transformer of FBG is realized, the center wavelength drift compensation in FBG caused by and the heat expansion of the square giant magnetostrictive materials is also realized. The measurement accuracy of this optical current transformer is increased.

Key words: fiber Bragg grating; giant magnetostrictive materials; temperature compensation; thermal expansion compensation; optical current transformer

随着电力系统传输容量的不断增加,运行电压等级越来越高,常规的电流互感器由于自身原理的局限,存在磁饱和、铁磁谐振、动态范围小、频带窄以及易燃易爆等局限性,难以满足现电力系统在线检测、高精度故障诊断、电力数字网等发展的需要^[1-3]。而光纤 Bragg 光栅传感技术已经成为光纤传感技术中最具活力的一种技术,将光纤 Bragg 光栅用于强电流测试,具有分辨率高、重复性好、测量范围大、无电磁干扰、可多参量分布式进行传感的优点,因而在电力工业测量中具有很大的潜力^[4]。

将光纤 Bragg 光栅用于强电流测试的一种方法是使用超磁致伸缩材料做调谐,用光纤 Bragg 光栅做

传感测量,但是在使用光纤 Bragg 光栅做传感时光纤 Bragg 光栅的中心波长偏移存在温度-应变交叉敏感的问题,同时由于光纤 Bragg 光栅直接粘贴在超磁致伸缩材料上感应超磁致伸缩材料的伸缩量,而当超磁致伸缩材料受热产生膨胀时也会产生伸缩并带来光纤 Bragg 光栅中心波长的漂移,而且超磁致伸缩材料的热膨胀系数与伸缩系数处于同一个量级,故而必须进行热膨胀补偿^[4-8]。

如何实现以上两种由于环境温度变化带来的测量误差的补偿,人们已经设计出多种方法^[9-11],但是都存在方法比较复杂或者是需要进行结构设计、增加器件等使得实用化困难的因素,文中提出一种新

收稿日期:2012-03-07

基金项目:国家自然科学基金(61108039)

作者简介:张准(1979-),男,汉,广东高州人,硕士,华南师范大学实验师,主要研究方向为光电技术及其应用。

颖的传感器设计方案,这种设计方式能将由温度变化带来的两项误差进行有效的补偿,与此同时还能提高电流的测量精度。

1 传感器方案设计

在利用光纤 Bragg 光栅和超磁致伸缩材料制作的电流互感器中,多数超磁致伸缩材料都是采用圆柱形材料,而本设计采用方形材料,使得光纤光栅可以正交粘贴在这个材料上,而且由于现在光纤 Bragg 光栅的栅区都小于 2 cm,因此所需要的方形超磁致伸缩材料可以设计为 2.5 cm×2.5 cm,随着超磁致伸缩材料的技术发展,这种材料的成本也大幅度下降,并不存在成本过高的问题,传感部分采用双光纤 Bragg 光栅,设计如图 1 所示。

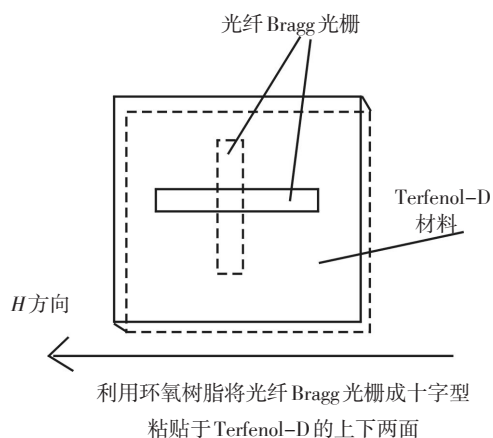


图 1 双光纤 Bragg 光栅传感头设计

如图 1 所示将用于测量的光纤光栅沿着超磁致伸缩材料的 H 方向粘贴,将另外一条用做补偿的光纤光栅沿着与 H 方向相垂直的方向粘贴。

由于光纤 Bragg 光栅的中心波长变化表达式为^[8]

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (1-p_e)\epsilon_x + (\alpha + \xi)\Delta T \quad (1)$$

在这个设计中如果同时考虑了磁性材料的热膨胀,那么 ϵ_x 表示为: $\epsilon_x = qH + \alpha_x\Delta T$ 。其中, α_x 为磁性材料的热膨胀系数; H 为磁场强度; q 为磁致伸缩系数,则有

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (1-p_e)(qH + \alpha_x\Delta T) + (\alpha + \xi)\Delta T \quad (2)$$

即

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (1-p_e)qH + ((1-p_e)\alpha_x + (\alpha + \xi))\Delta T \quad (3)$$

所以有平行磁场方向上的光纤 Bragg 光栅的波

长偏移表达

$$\frac{\Delta\lambda_{B1}}{\lambda_{B1}} = (1-p_e)q_1H + ((1-p_e)\alpha_x + (\alpha + \xi))\Delta T \quad (4)$$

垂直磁场方向上的光纤 Bragg 光栅的波长偏移表达

$$\frac{\Delta\lambda_{B2}}{\lambda_{B2}} = (1-p_e)q_2H + ((1-p_e)\alpha_x + (\alpha + \xi))\Delta T \quad (5)$$

它们差值表示

$$\frac{\Delta\lambda_{B1}}{\lambda_{B1}} - \frac{\Delta\lambda_{B2}}{\lambda_{B2}} = (1-p_e)q_1H - (1-p_e)q_2H \quad (6)$$

其中, q_2 为负值,从式(4)~式(6)可以看出磁性材料和光纤 Bragg 光栅在平行方向受到温度的影响和在垂直方向上受到温度的影响对光纤 Bragg 光栅的中心波长的偏移是相互抵消的,所以这个设计消除了温度的影响,而同时由于在平行方向上和垂直方向上由应力带来的中心波长偏移是相互叠加的,这样将使得传感器探头的灵敏度提高。

2 实验研究

将设计的传感器使用在电流互感器中,实验系统如图 2 所示。

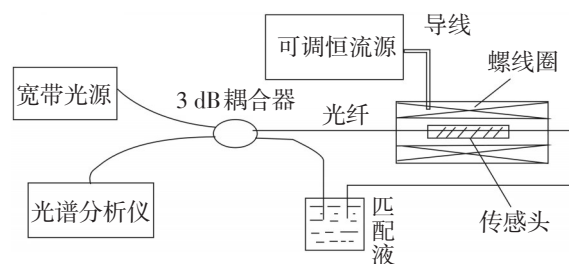


图 2 双光纤 Bragg 光栅电流互感器实验系统图及实际设备图

如图 2 所示,宽带(40 nm)光信号从宽带光源产生后,通过光纤传输,进入到分光比为 1:1 的耦合器后分出一路光到达文中设计的传感器,传感器上正交安置的光纤 Bragg 光栅反射满足 Bragg 波长条件的光波回到耦合器,耦合器分出一路光被光谱仪检测,记录中心波长。在传感器部分,随着加载的电流不

同,线圈产生的磁场不同,传感器上的超磁致伸缩材料的伸缩量不同,这样传导到光纤 Bragg 光栅的应变量就不同,相应的光纤光栅的 Bragg 波长就会改变,通过观察光谱仪测得的数据,就可以看到被测量和 Bragg 波长变化的关系。在螺线圈内部,螺线圈产生的磁场和螺线圈通过的电流是线性的关系,超磁致伸缩材料的伸缩量和磁场大小在一定范围是线性的,而应变量和光纤光栅的 Bragg 波长的偏移也是线性的关系,所以最终可以根据光谱仪的变化测得螺线圈上加载的直流电流。

文中选用的光纤 Bragg 光栅为深圳太辰光通信有限公司提供。主要参数如表 1 所示。

表 1 Bragg 光纤光栅主要参数

中心波长	1 545 + 1 550
波长公差	+/- 0.5
3 dB 带宽	<0.3
反射率	>90%
隔离度/(dB)	>15
光纤类型/涂敷类型	SMF - 28e 光纤/Polyimide 涂敷
栅区长度	<15 mm

表 2 超磁致伸缩材料磁场强度与伸缩系数关系(5 MPa 压强)

场强(Oe)	215	368	538	757	937	1 070	1 209	1 411	1 576	1 738	1 875	2 071
λ 系数	150	300	455	618	722	786	844	911	954	992	1 019	1 053

文中采用的超磁致伸缩材料为惠州市南方稀土金属材料有限公司提供的方形材料,规格为 5×17×25 cm,材料组成为 Tb_{0.27}Dy_{0.73}Fe_{1.90}。其磁感应特性如表 2 所示。

为了验证设计的传感头对温度的补偿效果,将螺线圈和传感器均放在恒温系统中,测量不同温度情况下,这个传感器的电流测量效果。

首先研究了 2 个光纤 Bragg 光栅的温敏系数,利用恒温系统从 35~60 °C 间测量仅仅是温度变化时光纤 Bragg 光栅中心波长值,结果如图 3 所示。

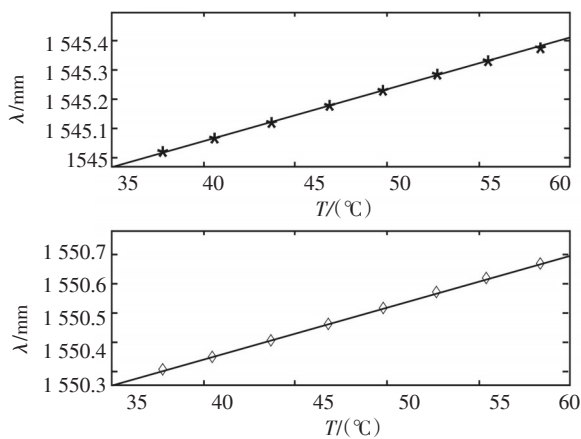


图 3 测量用双光纤 Bragg 光栅的温度系数比照

由图 3 可见 2 个光纤光栅的拟合结果分别为 $y = 1 544.362 136 933 702 + 0.017 501 049 637 731x$
 $R^2 = 0.999 203 865 705 224$ (7)

$$y = 1 549.638 521 649 991 2 + 0.017 923 246 301 759x$$

$$R^2 = 0.999 737 975 616 948$$
 (8)

由结果可以看到,粘贴在超磁致伸缩材料上以后表现在两个光纤光栅上的温度传感系数非常接近,差仅为 0.000 4。

其次研究不同温度情况下,设计的电流互感器的测量结果,分别固定测量了 33、42 和 52 °C 下,电流互感器的测量结果如图 4 所示。

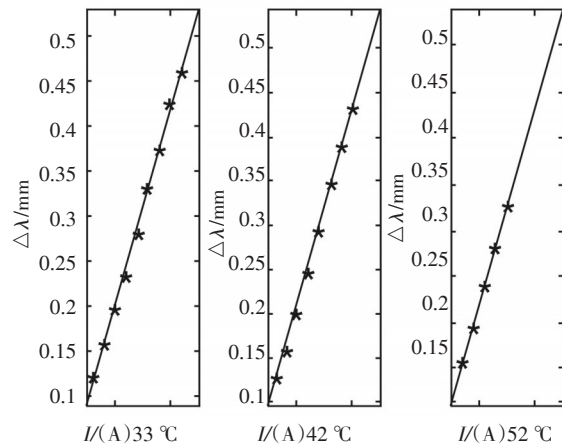


图 4 不同温度下双光纤 Bragg 光栅电流互感器的测试结果

对 3 个测量结果分别进行拟合得到 $y = -0.255 492 140 878 534 + 0.226 660 138 268 133x$
 $R^2 = 0.997 166 894 929 086$ (9)

$$y = -0.240 937 626 774 848 + 0.224 155 808 660 065x$$

$$R^2 = 0.996 923 244 033 593$$
 (10)

$$y = -0.187 + 0.213x \quad (11)$$

$$R^2 = 0.997998240211175$$

由拟合结果可以看到3条图线的斜率分别为0.227、0.224和0.213,可见设计的传感器能很好地补偿温度对光纤 Bragg 光栅中心波长偏移的影响。

最后对该设计提高电流互感器的测量精度进行了实验研究,测量结果如图5所示。

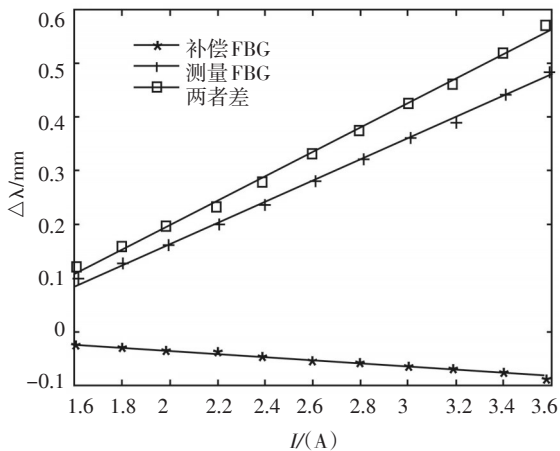


图5 33 °C时双光纤光栅电流互感器的测量结果

在设计的光纤电流互感器中,测量的精度指每单位电流的变化带来的波长偏移量越大精度越高,如图5所示电流互感器测量的是两光纤 Bragg 光栅的中心波长偏移量的差值,即图5中最上面的那条直线,明显可以看到测量的精度比仅用单条光纤 Bragg 光栅测量的第二条直线有了提高。

3 结 论

文中设计的双光纤 Bragg 光栅交叉粘贴传感器有效地解决了光纤光栅的温度-应变交叉敏感问

题,同时有效地补偿了超磁致伸缩材料的热膨胀带来光纤 Bragg 中心波长的漂移问题,而由于用于补偿的光纤 Bragg 光栅受超磁致伸缩材料的体积伸缩性质影响产生了一定的反向的中心波长偏移,这样在补偿了温度影响的同时一定程度的提高了电流互感器的测量精度。

参考文献

- [1] 郭天兴,王玉桥,刘海,等.国内外电流互感器的发展现状[J]. 电力电容器与无功补偿,2008,29(1):4-6.
- [2] 高鹏,马江泓,杨妮,等.电子式互感器技术及其发展现状[J]. 南方电网技术,2009,3(3):39-42.
- [3] 罗承沐,张贵新,王鹏. 电子式互感器及其技术发展现状[J/OL]. 电力设备,2007,8(1):20-24.
- [4] 余有龙,叶红安,刘治国,等.光纤光栅电流传感器[J]. 光学学报,2001,21(5):586-588.
- [5] 郭义杰.超磁致伸缩材料发展及其应用现状研究[J]. 机电工程,2004,21(4):55-58.
- [6] 童凯,汪梅婷,李志全.一种新型的 Bragg 光纤光栅电流传感器的设计[J]. 光学技术,2006,32(2):260-262.
- [7] 赵洪霞,鲍吉龙.一种新颖的光纤光栅电流传感器[J]. 量子电子学报,2005,22(6):951-954.
- [8] 廖帮全,冯德军,赵启大,等.光纤布拉格光栅电流传感的理论和实验研究[J]. 光学学报,2002,22(9):1092-1094.
- [9] 姚远,易本顺,肖进胜,等.光纤布拉格光栅传感器的温度补偿研究[J]. 应用激光,2007,27(3):192-199.
- [10] 姚远,易本顺,肖进胜.基于超磁致伸缩材料和光纤光栅的交流电流测量[J]. 武汉理工大学学报,2008,30(9):124-127.
- [11] 王建元,蔡国伟,高龙集,等.应用光纤 Bragg 光栅的新型直流电流测量方法[J]. 高电压技术,2007,33(7):67-71.

版 权 声 明

本刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中文科技期刊数据库》、《中国期刊全文数据库》、《中国学术期刊综合评价数据库》、美国《乌利希期刊指南》、波兰《哥白尼索引》收录期刊,并加入中国光学期刊网,建立了《光电技术应用》期刊网站,所刊载的文章在国内外数据库检索机构及网站(包括纸板、光盘版、网络版)报道时,不再征求作者意见。稿件刊登录用后作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给,并赠送当期样刊两份。