

基于比较测量法的光学电流互感器*

李红斌 刘延冰

(华中科技大学电气与电子工程学院, 武汉 430074)

摘要 提出采用永久磁体作为参考源应用于光学电流互感器中,对随环境因素改变的材料 Verdet 常数及线性双折射进行实时补偿的比较测量法. 运用矩阵光学理论对该方法进行了理论分析,并进行了相关实验,实验结果证明了该方法的可行性. 设计的传感单元采用了点式传感头,具有结构简单的特点,适合于在高电压环境中应用.

关键词 光学电流互感器;双折射;比较测量;磁场

中图分类号 TP212.14 **文献标识码** A

0 引言

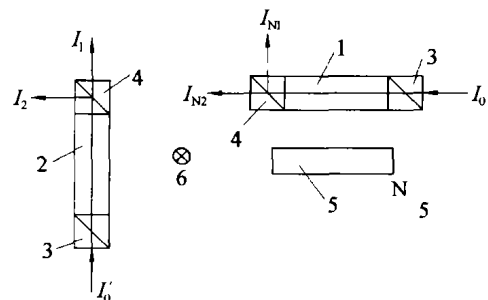
法拉第磁光效应描述的是线偏振光在磁场作用下通过旋光介质时其偏振面的旋转特性,输出旋转角信号的大小除了与被测电流的磁场有关外,还与材料的特性及光的偏振态有关^[1]. 当基于此效应的光学电流互感器(Optical Current Transformer, 简称 OCT)在电力系统中实际应用时,外界因素如温度、振动等将对材料的特性及传输偏振态产生影响,其结果首先是材料的 Verdet 常数发生了变化. 即使在 Verdet 常数随温度变化很小的抗磁性材料中,在 -40℃ ~ +60℃ 温度范围内,Verdet 常数的起伏引起的误差远超过 0.2 级的测量要求^[2,3]. Verdet 常数的波动改变了测量通道的比例系数,与电流幅值的变化等效,直接影响测量准确度,其实质结果是引入了一个标度因子. 若这个因子能保持不变,对测量的影响相当于一个固定系统误差,通过标定的方法,准确度仍能得到保证. 但实际上这个标度因子是随外界因素的变化而漂移的. 与此同时,光束的偏振态由线偏振变为椭圆偏振,对直流静态光强产生了附加调制,使测量结果呈现出某种不稳定状态^[1]. 所以尽管目前 OCT 的研究已进入了实用化阶段,但即使是在国外也没有得到大面积的推广应用,仍然限于小规模试用阶段. 因此,必须研究合理而有效的 OCT 补偿方法,提高 OCT 的长期稳定性.

本文提出了采用高稳定度永久磁体产生的磁场作为参考磁场,与被测电流产生的磁场实现比较测量,对 Verdet 常数及双折射的变化进行实时补偿的新的 OCT 补偿方法. 由于比较测量法的准确度只取决于参考源的稳定度,因此,在高电压环境下采用

这种方法可以获得较高的测量准确度及长期稳定性.

1 理论分析

如图所示:光路 1 用于测量永久磁体产生的参考磁场,光路 2 用于测量被测导体产生的磁场,光路 1 及光路 2 的传感单元材料,均取自同一块均匀度较好的大块材料中,两者长度相等并加工成条状结构,可以认为两块材料中的固有双折射相等.



1—Sensing element 1, 2—Sensing element 2, 3—Polarizer, 4—Analyzer, 5— Permanent magnet, 6—Conductor

图 1 采用永久磁体作为基准源的比较测量

Fig. 1 Comparative measurement using permanent magnet as reference source

光路 1 的输出为^[1]

$$I_{N1} = \frac{I_0}{2} \left(1 + \varphi_N \frac{\sin \Delta}{\Delta} \right) \quad (1)$$

$$I_{N2} = \frac{I_0}{2} \left(1 - \varphi_N \frac{\sin \Delta}{\Delta} \right) \quad (2)$$

$$\left(\frac{\Delta}{2} \right)^2 = \left(\frac{\delta}{2} \right)^2 + (\varphi_N)^2$$

$$\varphi_N = VHL \quad (3)$$

式中, V : 材料的 Verdet 常数; L : 敏感元的长度(m); H : 永久磁体的磁场强度(A/m); I_0 : 光源的光强; φ_N : 永久磁体的标准磁场引起的法拉第偏转角, 是一个固定值(rad); δ : 由于敏感材料中的线性双折射而引入的相位延迟(rad), 由敏感材料中的固有双折射及外界因素引入的双折射两部份组成, 当选择材料的固有双折射较大时, 即: $\delta \gg \varphi_N$, 则 $\Delta \approx \delta$

*国家自然科学基金资助项目(批准号:50377011)
Tel: 027-87484147 Email: whlhb2000@sina.com
收稿日期: 2003-08-11

式(1)、(2)变为

$$I_{N1} = \frac{I_0}{2} \left(1 + \varphi_N \frac{\sin \delta}{\delta} \right)$$

$$I_{N2} = \frac{I_0}{2} \left(1 - \varphi_N \frac{\sin \delta}{\delta} \right)$$

令 $I_N = (I_{N1} - I_{N2}) / (I_{N1} + I_{N2})$, 以消除光强 I_0 变化带来的影响, 得到

$$I_N = \varphi_N \sin \delta / \delta \quad (4)$$

同理, 光路2的输出为^[1]

$$I_1 = \frac{I_0'}{2} \left(1 + 2\varphi_{AC} \frac{\sin \Delta}{\Delta} \right) \approx \frac{I_0'}{2} \left(1 + 2\varphi_{AC} \frac{\sin \delta}{\delta} \right) \quad (5)$$

$$I_2 = \frac{I_0'}{2} \left(1 - 2\varphi_{AC} \frac{\sin \Delta}{\Delta} \right) \approx \frac{I_0'}{2} \left(1 - 2\varphi_{AC} \frac{\sin \delta}{\delta} \right) \quad (6)$$

$$\left(\frac{\Delta}{2} \right)^2 = \left(\frac{\delta}{2} \right)^2 + (\varphi_{AC})^2 \quad (7)$$

$$\varphi_{AC} = VH_{AC}L$$

式中, I_0' : 光源的光强; φ_{AC} : 被测电流引起的法拉第偏转角, 与之成正比关系(rad); H_{AC} : 被测电流的磁场强度(A/m).

对 I_1 及 I_2 进行交、直流分离, 并且交直流信号相除, 可得

$$I_1' = 2\varphi_{AC} \sin \delta / \delta$$

$$I_2' = -2\varphi_{AC} \sin \delta / \delta$$

$$\dot{I} = I_1' - I_2' = 4\varphi_{AC} \sin \delta / \delta \quad (8)$$

进行下列运算

$$\dot{I} / I_N = 4\varphi_{AC} / \varphi_N$$

经过上述处理后, 最终输出是一个和被测电流大小成正比、与材料 Verdet 常数、固有双折射及外界环境引入的双折射无关的量, 因此可以提高测量准确度, 保证测量的长期稳定值.

2 传感单元结构的特点

在应用永久磁体作参考源与被测导体电流进行比较时, 必须考虑到输电线中瞬态冲击大电流, 短路故障电流中非周期分量对永久磁体产生的充磁及退磁作用. 因此采用了图1所示的结构, 由于被测电流产生的磁场和标准磁场是相互垂直的, 因而被测导体上电流产生的任何形式的磁场对永久磁体的参考磁场的测量都没有影响.

此外, 一般情况下, 用磁光玻璃构成的传感头多为四角状结构^[4], 加工起来较复杂, 并且由于光路较长, 光束质量较差, 耦合困难, 耦合效率较低(一般为1%~2%). 为了简化传感头的结构, 采用了图1所示的点式结构, 这种结构加工简单, 但由于光路不闭合, 实际应用时, 必须考虑到相间磁场的干扰, 作者的研究表明^[5], 在满足一定的相间距离、合

理选择屏蔽材料及采用相关算法对测量数据进行处理的前提下, 点式传感头结构可以达到0.2级的测量准确度.

3 实验结果

对上述结构的 OCT 进行了准确度测试. 将 OCT 输出经过数字信号处理(DSP)系统处理后, 与准确度为0.05级的参考 CT 测量结果比对, 实验数据见图2, 从实验结果来看, 基于该方法的 OCT 能满足0.2级 OCT 的准确度要求.

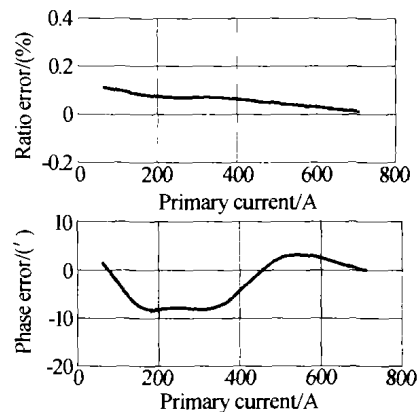


图2 OCT 实验结果

Fig. 2 The experiment results of OCT

4 结论

采用永久磁体作为参考磁场的比较测量法应用于 OCT 中, 可以实时补偿外界温度对材料 Verdet 常数及光束偏振态的影响, 提高测量准确度及稳定性. 该方案实施起来方便、简单, 在高电压环境下有较高的实用价值. 已进行的有关实验验证了该方法的可行性, 下一步的工作将根据 IEC60044-8《Electronic Current Transformer》的要求深入研究基于此方法的互感器的相关温度性能.

参考文献

- 1 李红斌. 光学电流传感器的研究. 武汉: 华中科技大学图书馆, 1994
Li Hongbin. Research on optical current sensor. Wuhan: Library of Huazhong University of Science and Technology, 1994
- 2 Williams P A, Pose A H, Day G W, et al. Temperature dependence of verdet constant in several diamagnetic glasses. *Applied Optics*, 1991, **30**(10): 1176~1178
- 3 Madden W L, Michie W C, Cmden A, et al. Temperature compensation for optical current sensors. *Optical Engineering*, 1999, **38**(10): 1699~1707
- 4 李红斌. 光学电流传感器传感头的研究. *光学学报*, 1997, **17**(7): 946-949
Li H B. *Acta Optica Sinica*, 1997, **17**(7): 946~949
- 5 李红斌, 陈庆, 汪本进, 等. 相间磁干扰对点式光学电流互感器影响的研究. *传感器技术*, 2004, **23**(4): 16~18

Li H B, Chen Q, Wang B J, et al. *Journal of Transducer*

Technology, 2004, 23(4): 16 ~ 18

Optical Current Transformer Based on Comparative Measurement

Li Hongbin, Liu Yanbing

College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074

Received date: 2003-08-11

Abstract Comparative measurement using permanent magnet as reference source applied in Optical Current Transformer is proposed. The influence of material's Verdet constant and linear birefringence caused by varying environmental factors can be compensated. The method is analyzed by the theory of matrix optics, and related experiment results have proven its feasibility. The point type sensing head is adopted in designed sensing element. So the OCT is simple in structure and is suitable for applying in the high voltage environment.

Keywords Optical current transformer; Birefringence; Comparative measurement; Magnetic field



Li Hongbin was born in Changsha, China. She received her Ph. D from Huazhong University of Science and Technology in 1994. Now She is an associate professor in the College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology. Her research is mainly focused on optical sensors.