

混合型大电流光纤传感器的研究

陈锡坤 宗伟勇 戴来发 蔡英时
(上海科学技术大学物理系)

提 要

本文叙述了混合型大电流光纤传感器的工作原理及制作方法。以 LED 作光源、PIN 作接收、火石玻璃为磁感应材料、多模光纤作导光波导的混合型大电流光纤传感器，用于监视高压电网系统中的电流。适用范围 $10^2 \sim 10^4$ A，精度 $\pm 0.5\%$ 。

关键词：光纤传感器；法拉弟效应。

一、引 言

光纤电流传感器可分相位型和偏振型两大类。本文研究的是以火石玻璃作法拉弟效应的磁光材料、以 LED 作光源、PIN 及模拟电路作接收与信号处理、以多模光纤作导光材料的偏振型大电流光纤传感器。这种电流传感器是由激光传感器发展而来的^[1]。由于它所用传感、传导材料都具有很好的电绝缘性能，故较需要大量绝缘材料的电流互感器有明显的优点。它可用于监视高压电网系统的大电流。

这种混合型大电流光纤传感器，其灵敏度不如由单模光纤构成的全光纤电流传感器，但由于单模光纤易受温度与应力的影响^[2]，从而全光纤型的电流传感器也难以获得稳定的精度。而混合型大电流光纤传感器对温度、应力等环境的变化是不灵敏的，它可得到稳定的精度。

二、原 理

混合型大电流光纤传感器的装置如图 1 所示。光源发出的光通过多模光纤 1，由透镜 L_1 耦合进起偏器 P_1 ，往法拉弟材料 B 受偏振调制后进入检偏器 P_2 ，由 P_2 把偏振调制转换成光强调制，再由透镜 L_2 耦合进多模光纤 2，最后由光电探测器测量。

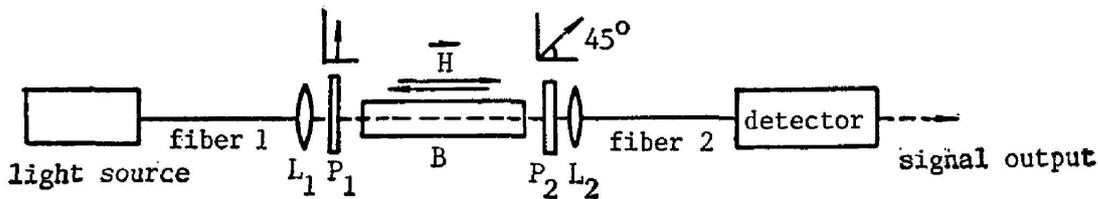


Fig. 1 Basic configuration of hybrid fiber current sensor

法拉弟效应是当线偏振光通过置于纵向磁场中的磁光材料时,偏振面发生旋转,转角为

$$F = V \int_l \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l}_0 \quad (1)$$

\mathbf{H} 为磁场强度, l 为在磁光材料中光传播的路径, V 为 Verdet 常数。当沿着光的传导方向存在均匀磁场时, (1) 式成

$$F = V H l_0 \quad (2)$$

根据马罗斯(Malus)定律,将偏振面的旋转变换成光强的变化来间接测量转角 F , 当线偏振光通过检偏器时, 出射光强为

$$I = I_0 \cos^2 F, \quad (3)$$

式中 I_0 为入射线偏振光的光强, F 为入射光偏振面与检偏器透射轴方向之间的夹角。由

(3) 式, $\left. \frac{dI}{dF} \right|_{F=0} = 0$ 。可见对应于 $F=0$ 附近的 F 变化, I 的改变是不灵敏的, 我们采用加偏置的方法, 即让起偏器与检偏器的透射轴之间有一个 $\frac{\pi}{4}$ 的初始夹角, 如图 2 所示。则 (3)

式为

$$I = I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi}{4} - F \right) = \frac{I_0}{2} [1 + \sin 2F] \quad (4)$$

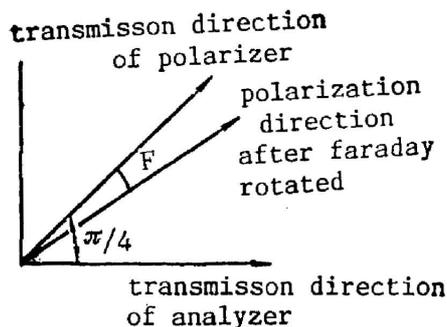


Fig. 2 Schematic diagram of addition offset

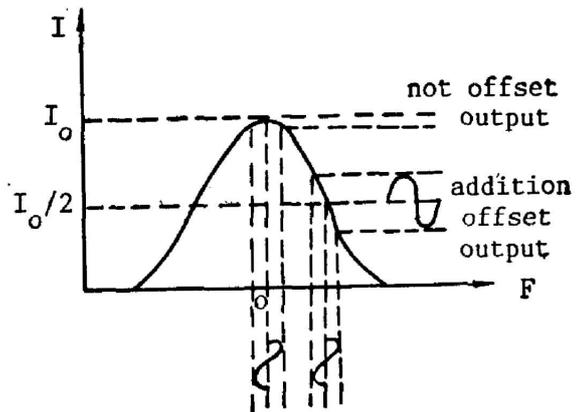


Fig. 3 The relation between output light strength and F in case of with offset and without offset

因此 $\left. \frac{dI}{dF} \right|_{F=0} = I_0$, (4) 式中, 当 $F=0$ 时, I 对 F 的变化具有最高的灵敏度, 而且线性也好, 如图 3 所示。当 F 很小时, (4) 式成

$$I \approx \frac{I_0}{2} (1 + 2F) \quad (5)$$

由 (2) 式和 (4) 或 (5) 式马上可得到输出信号与磁场强度 H (即电流) 的关系。

三、光 源

本系统要求光源有高的信噪比, 并能对传感头提供尽可能大的光强, 光源与光纤之间的耦合也要稳定。我们选用 GaAs 双异质结红外发光二极管作光源, 工作电流 50 mA 时, 光

纤输出功率为 $80 \mu\text{W}$ 。

LED 发光功率与驱动电流成线性关系, 驱动电流的不稳定将导致系统的测量误差。设光源输出光强为 $I_0 = I'_0 + I''_0(t)$, 其中 I'_0 为平均光强, $I''_0(t)$ 为光强波动, 此时公式(5)成为

$$I = \frac{1}{2} [I'_0 + I''_0(t)] (1 + 2F), \quad (6)$$

当 $I''_0(t)$ 的频率落在放大器通常内时, 交流输出为

$$V_e \propto I'_0 F + \frac{1}{2} I''_0(t), \quad (7)$$

与直流输出 I'_0 相除后得输出电压

$$V \propto F + \frac{I''_0(t)}{2I'_0}. \quad (8)$$

(8)式中 $I''_0(t)/I'_0$ 为测量误差, 因 F 的数量级为 10^{-2} , 为保证 $I''_0(t)/I'_0 \ll 2F$, LED 的驱动电流应保证 $I''_0(t)/I'_0 < 10^{-4}$ 。为此我们采用恒流驱动, 在 $10 \sim 200 \text{ mA}$ 范围内, 电流漂移 $< 0.1\%/hr$, 电流波纹约为 0.2×10^{-4} 。

四、传 感 器

传感头是大电流传感器中最主要的器件, 它有多种形式^[3]。我们设计了透射式和反射式两种传感头。

1. 透射式传感的结构如图 4 所示。透射轴成 45° 的两偏振器以及作为磁光调制的火石玻璃, 固定在有机玻璃圆筒内, 为保证光纤与块状元件之间的耦合, 用微透镜聚焦, 光纤与透镜的距离可调, 使光纤端面处于焦面位置, 并用双偏心结构的光纤夹具来微调光纤的位置。

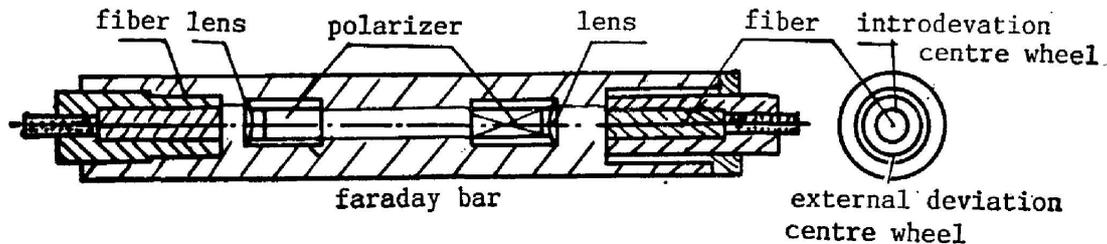


Fig. 4 The configuration of transmissive modal sensory probe

2. 反射式传感头结构如图 5 所示。这种结构用自聚焦透镜耦合光束, 以缩小整个装置的体积。但它将导致信号的附加衰减, 从而降低了仪器的分辨本领。

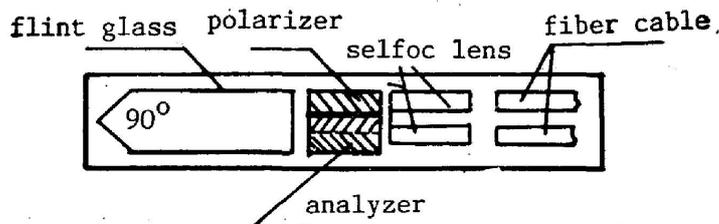


Fig. 5 The configuration of reflective modal sensor probe

五、接收系统

接收电信号处理装置如图 6 所示。由 PIN 光敏二极管将光纤传来的光强调制信号转换成正比的电流信号,经前置放大器放大,由高通和低通滤波器分别取出其中的交流和直流分量,交流分量 $I_0 \sin 2F$ 经精密检波器转换成直流信号,并与低通滤波器取出的正比于光强平均值 I_0 的分量一起输入模拟除法器,最后由数字电压表读出。

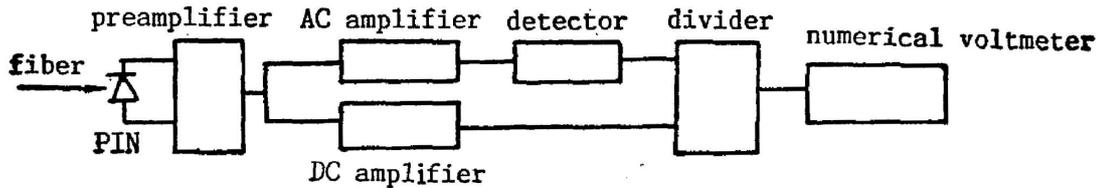


Fig. 6 The square diagram of signal managing system

由于信号很弱,降低噪声,提高信噪比是很重要的问题。我们将光敏二极管接成光伏式而不是成光导式,即不加反向偏压,以减小暗电流,从而减小噪声。同时应用带通滤波器压缩通频带,压低热噪声,并将 PIN 及前置放大器,交直流分离电路固定在铁制屏蔽盒中,抑制电磁干扰。

六、实验结果

首先对螺丝管产生的模拟磁场进行了测量,磁场范围为 $0 \sim 140$ Oe。透过式传感器和反射式传感器的输出电压与所测磁场的关系如图 7(a) 和 (b) 所示。由图可见,它们在所测范围内具有很好的线性关系。反射型曲线的斜率小,这是由于受二次全反射损耗所致。图 8 是在华东电力研究所的大电流网络中测量的结果。测试条件是:传感头与载流导线相对距离为 45 mm。

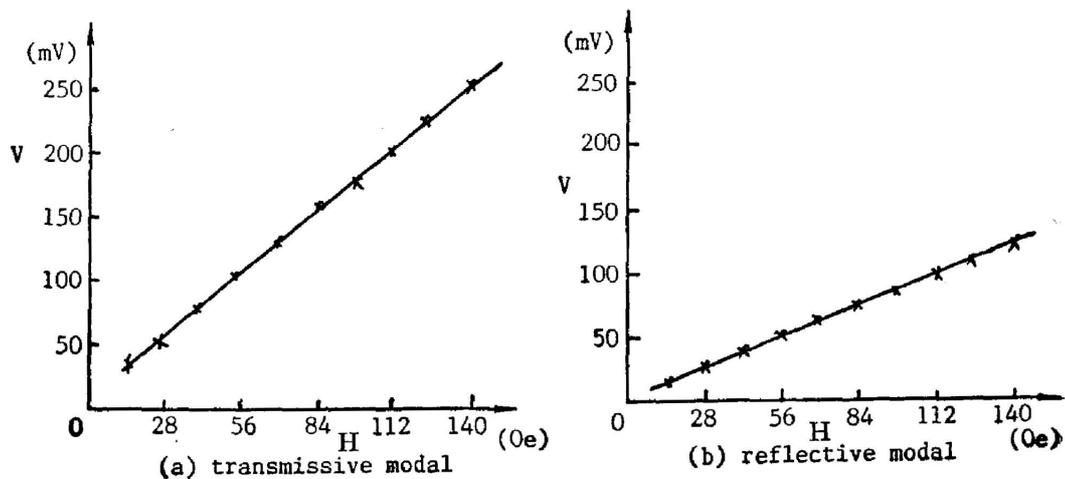


Fig. 7 The relation of output voltage of large current fiber sensor with magnetic field

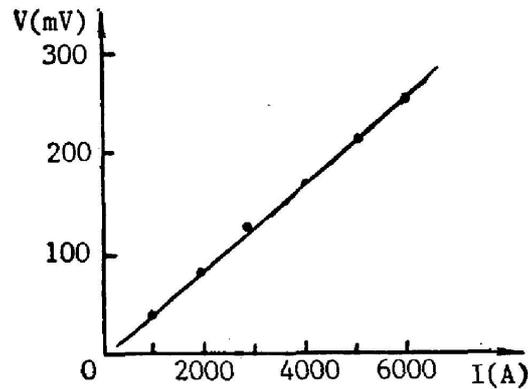


Fig. 8 V/I characteristic of large current sensor

参 考 文 献

- [1] A. J. Rogers; *Optics and Laser Technology*, 1977, **9**, No. 6(Dec), 273~283.
- [2] A. M. Smith; *Applied Optics*, 1978, **17**, No. 1(Jan), 52~56.
- [3] 谷内哲夫等; *National Technical Report*, (日文), 1983, **29**, No.5(Oct), 716~726.

Studies on hybrid large current fiber sensor

CHEN XIKUN, ZONG WEIYONG, DAI LAIFA AND CAI YINGSHI
 (Department of Physics, Shanghai University of Science and Technology)

(Received 9 September 1983; revised 7 May 1989)

Abstract

In this paper, the working principles and fabricating methods of hybrid large current fiber sensor have been described. The hybrid large current fiber sensor consists of a LED as light source, PIN as light receiver, flint glass as magnetic inductor and multimode fiber as light conductor. This sensor can be used for monitoring the current in high voltage electric net and the applied range is $10^2 \sim 10^4$ A with accuracy of $\pm 0.5\%$.

Key words: optical fiber sensor; Faraday effect