

磁光光纤大电流传感器*

陈锡坤 邱静和 戴兰发

(上海科技大学物理系, 上海 201800)

提要 研制的磁光光纤大电流传感器在 1~8 kA 测量范围内具有 $\pm 0.5\%$ 的线性和 $\pm 0.5\%$ 的重复性。该传感器能耐压 300 kV 以上。方形闭环结构是实用化的电流传感头。

关键词 Faraday 效应, 电流传感器, 全反射

Magnetic-optic fiber large current sensor

CHEN Xikun, QIU Jinghe, Dai Laifa

(Department of Physics, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 201800)

Abstract A magnetic-optic hybrid current sensor is presented. The measurement result shows that the linearity of $\pm 0.5\%$ and repeatability of $\pm 0.46\%$ can be achieved in a range of 1~8 kA.

Key words Faraday effect, current sensor

1 引言

在高压电气工业的传感技术中,采用光纤方法较电的方法具有明显的优点。因为光纤本身是高绝缘的,可避免电磁感应噪声,而且带宽、量轻、紧凑和廉价。用磁光 Faraday 效应构成的光纤电流传感器在高压电气网络中尤为引人注目。所有光纤的缺点是二氧化硅玻璃的 Verdet 常数比较小(1.35 度/(A/m)·m),而且还伴随线双折射问题,虽然现在有特种光纤,用圆双折射来压倒线双折射,然而在这些方案中仍有减小灵敏度及环境条件影响等缺点,所以由全光纤构成的电流传感器在稳定性和可靠性方面有待改进。用块状 Faraday 材料和多模光纤构成的混合型电流传感器,可克服全光纤电流传感器的缺点。

2 原理与实验

用 SF-6 玻璃($V = 6.37$ 度/(A/m)·m)作磁光 Faraday 材料,由于是块状不因受外应力

收稿日期: 1992 年 11 月 19 日;收到修改稿日期: 1993 年 2 月 11 日。

* 本工作得到上海自然科学基金资助。

而增加线双折射,而且它是抗磁性材料,其温度稳定性较顺磁性和铁磁性材料好^[1]。

混合型光纤大电流传感器的装置如图 1 所示。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

$$\phi = V \int_i H \cdot de \tag{1}$$

起偏器和检偏器的透射轴成 45° 夹角,此时由检偏器出射的光强为

$$I = (I_0/2)(1 + \sin 2\phi) \tag{2}$$

I_0 为通过起偏器的光强。

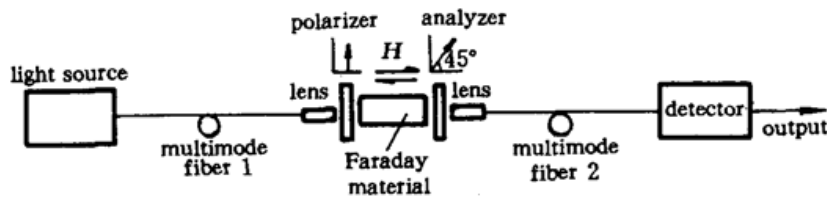


Fig. 1 Setup of fiber current sensor

光源选用 0.85 μm 波长的 LED,采用 10 kHz 调制电源来驱动,工作电流为 50 mA,出纤功率为 80 μW。

我们曾设计透过式和反射式两种传感头,如图 2 所示。

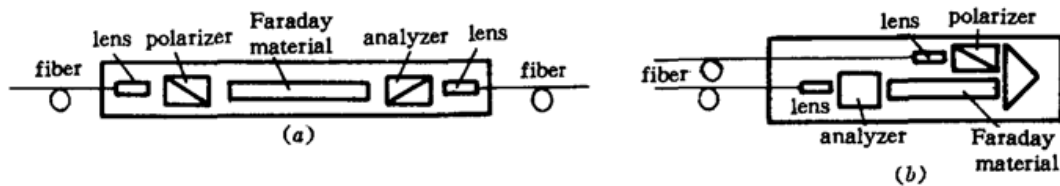


Fig. 2 Fiber current sensorial probe. (a) transmissive type; (b) reflective type

接收电信号处理装置如图 3 所示。由 PIN 将光纤传来的光调制信号转换成正比的电流,分别取出其中的交流和直流分量,交流分量正比于 $I_0 \sin 2\phi$,直流分量为 I_0 ,见方程式(2)。经除法器运算,输出信号正比于 $\sin 2\phi$ 。

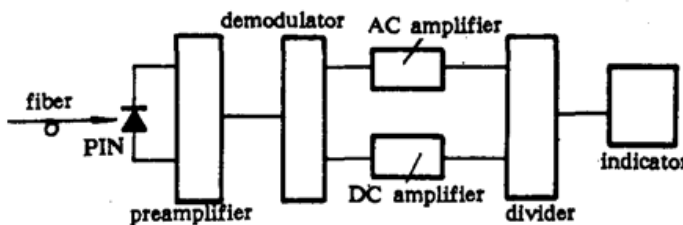


Fig. 3 The diagram of signal detection

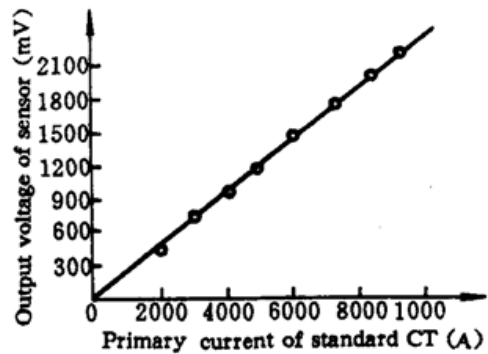


Fig. 4 V vs I relation of current sensor

在上海互感器厂进行电流试验,工频电流范围为 1~8 kA,传感器输出电压与被测电流的关系如图 4 所示,线性度小于 ±0.5%。耐受工频电压 300 kV,维持 5 min,无击穿及闪络。位相测试装置如图 5 所示,相位延迟为 24°。用双踪示波器观察,无明显失真。图 6 为拍摄的波形照片,上波形为电流互感器输出,它与电网中电流波形有 180° 位相差,下波形是电流传感器输出。传感器重复性为 0.46%。

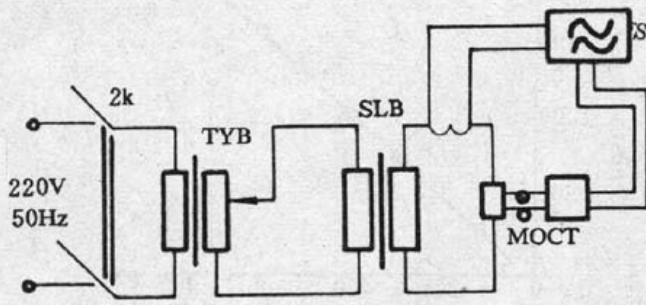


Fig. 5 Phase measurement system



Fig. 6 Output wave form of current sensor

3 闭环方形电流传感头

由于上述的电流感应头的输出随它离开载流导体的距离而变,这给实际测量电流造成不便,而且这种传感头易受另外二相电流产生的磁场干扰,降低整个电流传感器的精度。为此使 Faraday 介质中的光束在被测电流周围取闭环形状,以克服上述传感头的缺点。Y. N. Ning 等把 Faraday 介质做成圆环形,由光的多次内反射构成圆环电流传感头^[2];而 B. C. B. Chu 等构成三角形,使全反射角准确地等于临界角^[3]。这里介绍方形双层光路构成的电流传感头。众所周知,大于临界角全反射时,光振动矢量垂直于入射面的分量和平行于入射面的分量经历不同的位相变化。对 SF-6 玻璃,它们的差如图 7 所示。这将使入射的线偏振光变成椭圆偏振光出射,降低了测量灵敏度^[4]。

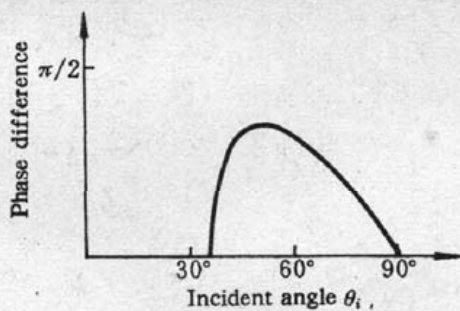


Fig. 7 Phase difference of parallel and vertical-component

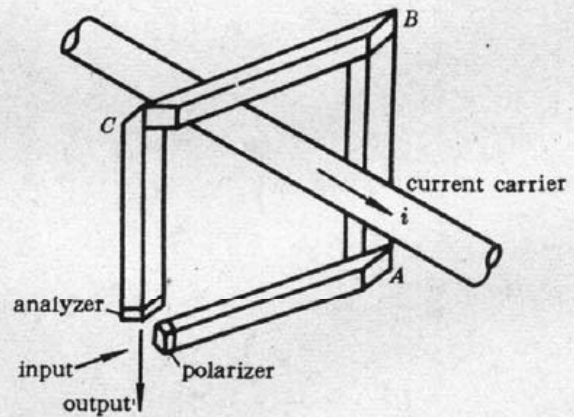


Fig. 8 A quadrangular circuit loop of the current sensorial probe

当相邻二次全反射的入射面相互垂直时,垂直和平行于入射面的分量互换,从而使它们的位相差得到补偿。如图 8 所示的方形闭环电流传感头在角 A, B, C 处均有入射面相互垂直的上下二次全反射。这样,当线偏振光入射进该传感头时,出射的仍是线偏振光。偏振方向之间的关系如图 9 所示。传感器的伏安特性如图 10 所示。

比较图 10 和图 4,可以看出闭环方形电流传感头的灵敏度是通过式或反射式传感头的 10 倍。所以闭环方形双层光路传感头是构成电流传感器的理想结构。

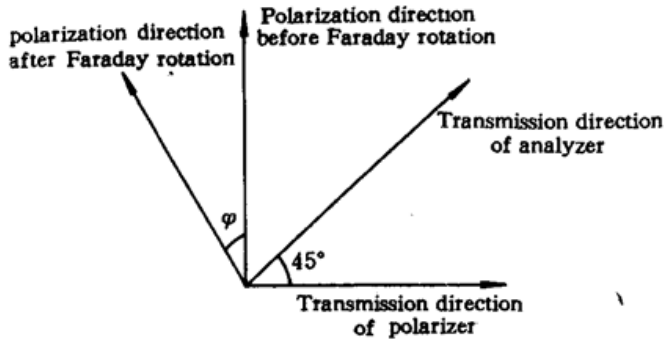
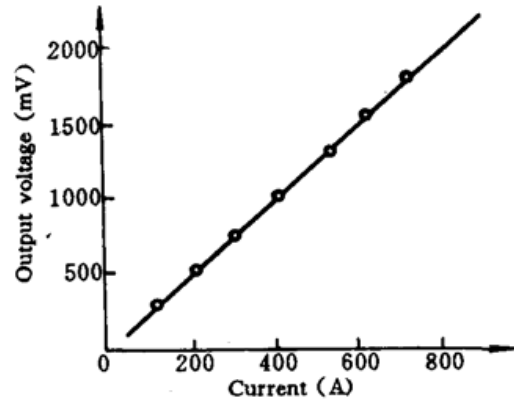


Fig. 9 The polarizing directions of light

Fig. 10 V/I characteristic of quadrangular circuit loop

参 考 文 献

- 1 K. Kyoma, S. Tai *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-18**(10), 1619~1623(1982)
- 2 Y. N. Ning, B. C. B. Chu *et al.*, *Opt. Lett.*, **16**(24), 1996~1998(1991)
- 3 B. C. B. Chu, Y. N. Ning *et al.*, SPIE's International Symposium OE/Fibers '92 Fiber optic sensor, Sep. 1992, 19~20 (In Hynes Convention Center Boston, Massachusetts, USA)
- 4 宗伟勇, 陈锡坤, *光学学报*, **11**(3), 260~263(1991)