



DOI: 10.12086/oe.2020.180671

## 基于光学互易回路的全光纤 电流互感器的研究与应用

郝兆荣<sup>1</sup>, 王强<sup>1</sup>, 达建朴<sup>1</sup>, 罗苏南<sup>2</sup>,  
王耀<sup>2</sup>, 张广泰<sup>1</sup>, 李钊<sup>1</sup>

<sup>1</sup>常州博瑞电力自动化设备有限公司, 江苏 常州 213025;

<sup>2</sup>南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211100



**摘要:** 针对传统有源电磁式互感器易饱和、稳定性与抗干扰能力差、安装受限等问题, 本文基于 Faraday 磁光效应, 设计了一种无源全光纤电流互感器, 通过旋光角来测量被测电流; 设计互感器以 HB Spun 光纤作为传感元件, 无饱和现象, 可用于大电流测量; 利用光学互易回路, 消除光路中温度、光纤缺陷等因素对旋光角测量的干扰; 采用反射式光路将电场引起的旋光角放大 4 倍, 实现小电流的精确测量; 传感元件采用柔性传感光纤环结构, 形状可变, 适应复杂空间内电流的测量。对比了不同圈数的柔性光纤传感环与标准电流互感器的测量精度, 结果表明, 本文设计的光学互易回路可以消除温度对电流测量的影响, 全光纤电流互感器在  $-5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$  全温度范围内精度为 0.5, 可实现小电流的精确测量。

**关键词:** 光学互易回路; 温度; 旋光角; 小电流测量; 柔性光纤传感环

**中图分类号:** TM452

**文献标志码:** A

**引用格式:** 郝兆荣, 王强, 达建朴, 等. 基于光学互易回路的全光纤电流互感器的研究与应用[J]. 光电工程, 2020, 47(4): 180671

## Research and application of all-fiber optic current transformer based on optical reciprocity loop

Hao Zhaorong<sup>1</sup>, Wang Qiang<sup>1</sup>, Da Jianpu<sup>1\*</sup>, Luo Sunan<sup>2</sup>,  
Wang Yao<sup>2</sup>, Zhang Guangtai<sup>1</sup>, Li Zhao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NR Electric Power Electronics Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu 213025, China;

<sup>2</sup>NR Electric Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 211100, China

**Abstract:** Aiming to the problems of traditional active electromagnetic transformer such as easy magnetic saturation, poor stability and anti-interference ability, and limited installation, etc., this paper designs the optical fiber current transformer to measure current by rotation angle based on Faraday magneto-optic effect; HB Spun optical fiber is used as sensing element without saturation and can be used for high current measurement. The designed transformer uses the optical reciprocity loop to eliminate the interference of temperature and optical fiber defect on the measurement of optical rotation angle, and uses reflector to enlarge the optical rotation angle to four times, which can realize accurate measurement of small current; Sensing element uses flexible fiber ring with shape variability

收稿日期: 2018-12-20; 收到修改稿日期: 2019-12-20

作者简介: 郝兆荣(1986-), 男, 硕士, 主要从事电网中光学传感技术的研究。E-mail: haozr\_br@nrec.com

通信作者: 达建朴(1989-), 男, 硕士, 主要从事电网中光学传感技术的研究。E-mail: dajp\_br@nrec.com

版权所有©2020 中国科学院光电技术研究所

characteristic, which helps for measurement of current in complex space. The paper compares flexible fiber ring with different loops to standard current transformer, the results show that optical reciprocity loop can eliminate the interference of temperature on the current measurement and the accuracy of all-fiber current transformer is 0.5 in the range of  $-5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , which can realize the accurate measurement of small current.

**Keywords:** optical reciprocity loop; temperature; optical rotation angle; small current measurement; flexible fiber sensing ring

**Citation:** Hao Z R, Wang Q, Da J P, et al. Research and application of all-fiber optic current transformer based on optical reciprocity loop[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2020, 47(4): 180671

## 1 引言

随着电网容量的增大、电流电压等级的提高,以及各类保护的完善,测量精度的需求也随之提高,传统电磁式互感器的抗干扰差、体积笨重、易于磁饱和、谐波测量受限等缺点也逐渐暴露出与电网发展不匹配的现象,同时由于电网结构日趋复杂,测点的位置要求灵活多变,传统的线圈式互感器在安装上易受到空间的限制,对于狭小复杂空间内的相关参数的测量受到限制,因此对可以适应复杂空间的测量方式也提出了新的要求<sup>[1-2]</sup>。

随着光学技术的发展,光学传感技术和信号处理技术逐渐地用于电网中,许多科研单位和公司开始利用光学传感技术和电子学技术来研究新型的电流互感器。电流互感器可分为有源型线圈电流互感器和无源型光学电流互感器两种,除传感原理不同外,其区别还在于:有源型电子式电流互感器在高压侧包含电子电路元器件,将一次侧电流信号转化为模拟信号进行传输;无源型光学电流互感器高压侧只含有光纤、磁光玻璃等绝缘材料,一次侧的电流信号转换成光信号进行传输。两种电流互感器相比,无源型光学电流互感器高压侧不含电子元器件,且传输的是光信号,具有较高的抗干扰能力;同时用于测量的光纤环采用柔性结构,绕制工艺简单,光纤圈数与形状不受结构限制,可以用于小电流、复杂布线工况的电流测量<sup>[3]</sup>。

近些年来许多学者对于全光纤电流互感器精度进行了多方面的研究,全光学电流互感器主要受到温度、振动等方面的影响,温度主要影响  $1/4$  波片的延时角以及传感光纤的 Verdet 常数,采用  $1/4$  波片和传感光纤的 Verdet 温度系数系数互补;振动主要影响传感光纤的应力双折射,采用微重力及减振技术进行抑制,通过这些努力,并且随着旋转光纤技术的发展,全光纤电流互感器日趋完善<sup>[4-9]</sup>。

山西省引黄“十二五规划”大电网建设中一项重

要的工程,供水范围较广,为了保障工程中电力系统的可靠运行,水电站发电机组定子选择性保护接地装置逐渐得到推广,零序电流作为选择性定子保护接地的重要判据需要精确测量<sup>[10]</sup>。电动机组零序电流的检测要求互感器的测量范围大,小电流测量精度高,现场在不拆卸母线情况下完成安装,且结构可适应复杂工况。本文设计的无源全光纤电流互感器具有高精度、小电流特性好、现场可绕制光纤环、易安装的柔性结构等特点,可满足工程需要。

## 2 无源全光纤电流互感器测量原理与光路设计

### 2.1 无源全光纤电流互感器测量原理

光学电流互感器(Optical current transducer ,OCT)基于 Faraday 磁光效应和安培环路定理,通过测量偏振光在一次电流引起的磁场中的旋光角来间接测量电流<sup>[11]</sup>(如图 1)。根据 Faraday 磁光效应线偏振光矢量的旋转角(用  $\theta$  表示),理想情况(不考虑线性双折射)下  $\theta$  可表示为

$$\theta = V \int H dl, \quad (1)$$

其中: $H$ 为作用于磁光玻璃的磁场强度, $l$ 为偏振光通过磁光玻璃的长度, $V$ 为磁光玻璃的 Verdet 常数,它

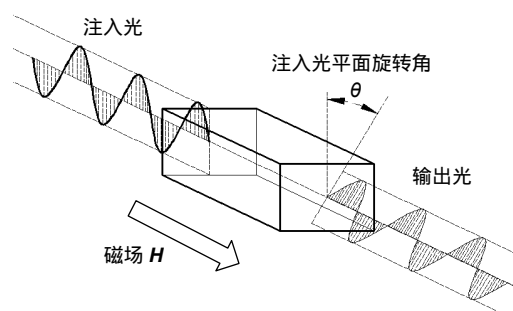


图 1 法拉第磁光效应

Fig. 1 Faraday magneto-optic effect

与介质的特性、光源波长、外界温度等有关。

当偏振光的路径光路为闭环回路时，根据安培环路定理，磁场强度对路径的积分等于闭环路径所包围的各个电流的代数和与磁导率的乘积，简化旋光角可以得到：

$$\theta = \mu VI, \quad (2)$$

其中： $\mu$  为介质中的磁导率， $I$  为闭环回路包围的电流之和。由此可知偏振光在磁场中产生的旋光角  $\theta$  与闭环回路中的电流之和成正比，因此可以采用检测闭环光路中旋光角来测其包围的电流。

## 2.2 无源全光纤电流互感器闭环光路设计

目前全光纤电流互感器闭环回路如图 2 所示，全光纤电流互感器数字闭环系统由采集单元、传输光纤、一次传感器三部分构成。

光源经过耦合器后进入起偏器变成线偏振光；线偏振光通过起偏器与相位调制器之间的分光器，产生两束正交偏振光；两束正交偏振光沿着保偏光纤两个正交方向传播，经过  $45^\circ$  波片光纤时，变成两束旋向相反的圆偏振光。两束偏振光进入一次传感环后，在磁场作用下发生磁光效应，产生相反的旋光角；到反射镜时两束偏振光旋向再次发生改变，再经过二次电流产生的磁场时，旋光角加倍。两束光因为旋向不同，经过两次磁场后，相位差为单束旋光角的 4 倍。两束光从一次传感环射出时，偏振方向互换，再回到探测器时，两束光相位携带旋光角的信息；而由于旋光角与电流成正比，因此两束光相位差可以反映一次电流的信息。此过程中通过相位调制器施加方波调制电压信号，使两束偏振光的相位差产生  $\pi/2$  偏置，被测信号从数学上由余弦函数变为正弦函数，将系统的工作点移至零点附近的灵敏区域，克服响应灵敏度低及干涉结果不能反映被测电流方向等问题<sup>[11]</sup>。带有电流信

息的光强信号经耦合器输出抵达探测器 PD，探测器进行光电转换，解调电路从 PD 输出的电信号中解调出一次电流信息。

$$\theta = 4\mu NVI, \quad (3)$$

其中： $N$  为光纤传感环圈数， $I$  为一次导体中电流大小(待测电流)。

## 2.3 无源全光纤电流互感器闭环回路消温特性分析

本文的全光纤电流互感器采用闭环回路结构，其结构具有互易性，可以有效地消除温度对全光纤电流互感器测量精度的影响，由于光源经过起偏器后，形成偏振光，其偏振光在经过起偏器与相位调制器之间的  $45^\circ$  熔点时，产生正交的两束偏振光  $E_x, E_y$ ，以  $45^\circ$  熔点为原点，以此时两束偏振光相位为零时刻建立偏振光传播方程：

$$E_x = A_1 \cos(\omega t - \varphi_1), \quad (4)$$

$$E_y = A_2 \cos(\omega t - \varphi_2), \quad (5)$$

其中： $A_1, A_2$  为沿  $x$  方向振动和  $y$  方向振动的偏振光， $\omega$  为两束偏振光的圆频率， $\varphi_1, \varphi_2$  分别为沿两方向振动的初相位。

由于偏振光的传播介质为保偏光纤，有快轴和慢轴之分，设  $x$  方向为快轴方向， $y$  为慢轴方向，则两束偏振光从原点传输至波片光纤时，由于两束光传播速度的差异产生相位差  $\Delta\varphi_1$ ，同时考虑温度对于保偏光纤折射率的影响，从而影响两个方向上光的传播速度。假设温度对快慢轴折射率的影响程度不同而引起的相位差为  $\Delta\varphi_T$ ，则在波片光纤处两束偏振光的相位差为

$$\Delta\varphi_a = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_T. \quad (6)$$

由于  $E_x, E_y$  与波片光纤成  $45^\circ$ ，偏振光转变为圆偏振光，假设  $x$  方向传播偏振光转变为左旋圆偏振光， $y$  方向传播的光转变为右旋圆偏振光，两束圆偏振光

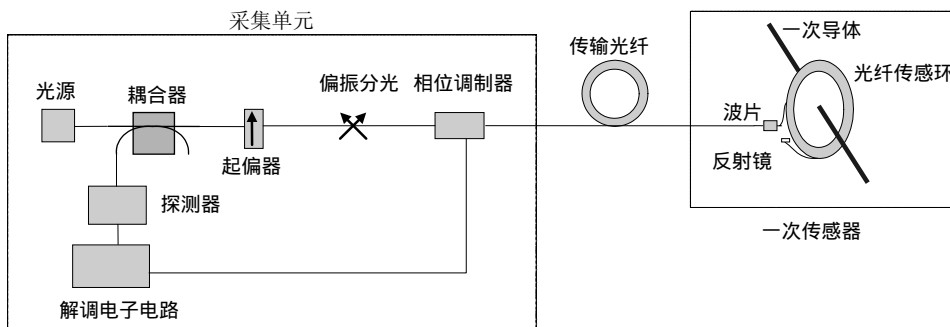


图 2 无源全光纤电流互感器闭环光路示意图

Fig. 2 Closed-loop optical path diagram of passive all-fiber current transformer

进入保圆光纤，产生磁光效应，设左旋圆偏振光在一次电流磁场中产生的旋光角为  $\varphi_0$ ，则右旋圆偏振光产生的旋光角为  $-\varphi_0$ ，则两束圆偏振光从波片光纤到反射镜产生的相位差  $\Delta\varphi_b$ ：

$$\Delta\varphi_b = \varphi_0 - (-\varphi_0) = 2\varphi_0 \quad (7)$$

经过反射镜反射，相位差维持不变，两束光旋向发生改变，则两束光从反射镜回到波片光纤时产生的相位差  $\Delta\varphi_c$ ：

$$\Delta\varphi_c = \varphi_0 - (-\varphi_0) = 2\varphi_0 \quad (8)$$

反射光经波片光纤时，圆偏振光转变成偏振光，但此时  $E_x$ 、 $E_y$  由于经过反射镜旋向改变致使圆偏振光经过波片光纤后产生的两束偏振光分别沿  $y$  和  $x$  轴传播，此时温度和光纤快、慢轴对两束光相位差的影响与两束光正向传播时相反，此时产生的相位差  $\Delta\varphi_d$ ：

$$\Delta\varphi_d = -(\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_T) \quad (9)$$

根据上述分析，当两束光经过一个完整闭环回路回到原点时：

$$\Delta\varphi = \varphi_a + \varphi_b + \varphi_c + \varphi_d = 4\varphi_0 \quad (10)$$

由式(9)可知，整个光路近似为一个互易回路，当经过一个光路循环时，温度对两束光相位检测的影响大幅度消除，在整个过程，偏振光振动方向发生  $90^\circ$  转变。由式(10)可知，经过一个完整回路两束光的相位差为定值，由此可知，温度对于相位检测的影响可以利用互易性进行大幅度消除。

由于传感光纤的磁光效应具有非互易性，同时其采用的 HB Spun 光纤 Verdet 常数具有对全光纤互感器比差(衡量测量精度的主要指标)有正的温度系数，为了消除温度对传感光纤 Verdet 常数影响，本文研制的全光纤电流互感器利用波片光纤在相位延迟大于  $90^\circ$  时对全光纤互感器比差有负的温度特性来消除传感光纤温度对电流测量精度影响，从而进一步减小温度对

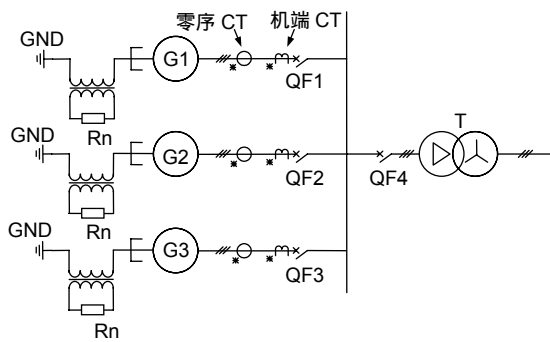


图3 发电机定子零序方向的动作原理图

Fig. 3 Principle diagram of zero sequence direction of generator stator

全光纤电流互感器测量精度的影响<sup>[12-13]</sup>。

### 3 无源全光纤电流互感器结构设计 与数据分析

山西引黄工程发电机组为实现选择性定子接地保护功能，采用机端零序电流和机端零序电压构成零序方向元件，实现选择性定子接地保护功能。正极性端在发电机侧，极性示意图如图3所示，为了实现选择性定子接地保护，需要检测中性点电流的大小和方向，在每台机组的中性点位置安装电流互感器。因为零序电流为发电机三相之和的小电流，且现场要求安装电流互感器时不可拆卸管母，只能采用可现场绕制式光纤电流互感器，因此图中零序 CT 为光 CT。

本文设计的无源全光纤电流互感器用于测量中部引黄工程的 1、2 号发电机母线零序电流，现场的 1、2 号母线 A、B、C 三相采用环氧浇筑在一起，现场发电机 1、2 号机组浇筑母线走线如图4所示，两条母线并排平行于墙壁走线，由于母线与墙壁间隔、两条母线间隔距离较小，因此设计互感器时传感环采用非圆结构，同时为了满足现场安装方便，采用柔性传感环在现场进行绕制。

#### 3.1 全光纤电流互感器的柔性光纤传感环测量性能分析

本文制作的光纤传感环由反射镜、保圆光纤、1/4 波片、保偏光纤以及用于保护光纤的波纹管组成，为了研究柔性温度对光纤环测量性能的影响，本文制作了 8 圈、16 圈、30 圈、60 圈柔性光纤环。

本文对 8 圈、16 圈、30 圈和 60 圈柔性光纤环进行温度试验，标准电流为 200 A，试验温度为  $-5^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$ ，通过稳流源、比例标准、校验仪、导线

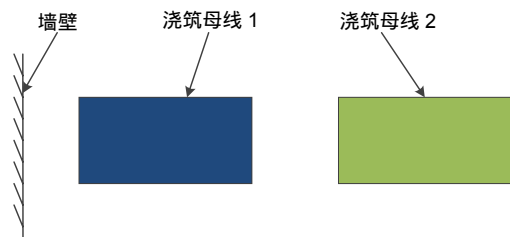


图4 中部引黄现场母线走线示意图

Fig. 4 Diagram of bus routing in the yellow river diversion site



等搭建的试验回路,对柔性光纤环的比差进行测试并记录,比差  $\varepsilon$  作为电流互感器描述测量精度的主要参数之一,其表达式为

$$\varepsilon = \frac{K_{ra}U_s - I_p}{I_p} \times 100\% \quad (11)$$

其中: $K_{ra}$ 为额定变比, $I_p$ 为实际一次电流的方均根值, $U_s$ 为二次转换器输出均方根值;根据参数含义,可以得知  $K_{ra}U_s$  即为互感器测量电流值。

不同圈数柔性光纤环的比差测试结果如图 5 所示,可知温度对于光线传感环比差影响较小,最大偏差为 0.8%;随着圈数的增多,温度对于比差影响基本维持不变。这与上文理论分析相符合,即光路互易性可以消除温度对传感光纤环测量精度的影响。

由上述分析可知,柔性传感环产生的旋光角  $\theta$  正比于光纤绕制的圈数,因此在电流一定的条件下,光纤环的圈数越多,产生的旋光角越大,电流的测量精度越高。为了对比不同圈数光纤环的电流测量精度,本文将不同圈数的光纤环测量电流与标准稳流源产生的电流作对比,其结果如表 1 所示。当柔性光纤环圈数较少时,对小电流测量存在较大误差,然而误差会随着光纤环圈数的增加而减。当圈数为 60 时,全光纤电流互感器在整个量程范围内具有较高的精度,电流

准确级达到 0.5,小电流测量也具有较高的精度,因此可知小电流误差可以通过增加环圈数进行消除。

综合上述分析,温度对柔性光纤环测量精度影响较小,但是圈数较少时,柔性光纤环的测量精度较低。为了保证全光纤电流互感器对小电流的测量精度,本文设计的光学电流互感器柔性光纤环的圈数为 60 圈。

### 3.2 全光纤电流互感器的结构设计及数据分析

中部引黄发电机组中性点侧电流根据接地变及负载电阻的选择,电流会达到 10 A~100 A,测量电流范围为 0.3 A~150 A,要求精度误差小于 2.5%。本文设计全光纤电流互感器在 0.2 A 小电流测量时,精度可达 1.716%,在全量程范围准确级满足 0.5 电流保护等级,可以满足中部引黄发电机组的零序电流测量要求。

根据现场母线的空间位置,本文设计可拆卸的柔性全光纤电流互感器,其结构如图 6 所示。互感器为左、右可拼装结构,其中盖板采用高强度的环氧绝缘材料,壳体采用铝合金。安装时依次将左右壳体固定完成后,现场进行柔性光纤环绕制,拼装结构设计保证安装时不拆卸管母,同时由于柔性光纤环圈数为 60,结构为柔性结构,使得互感器结构设计时具有较高的自由度,可实现互感器结构的非圆设计以满足复杂工况下电流测量要求。

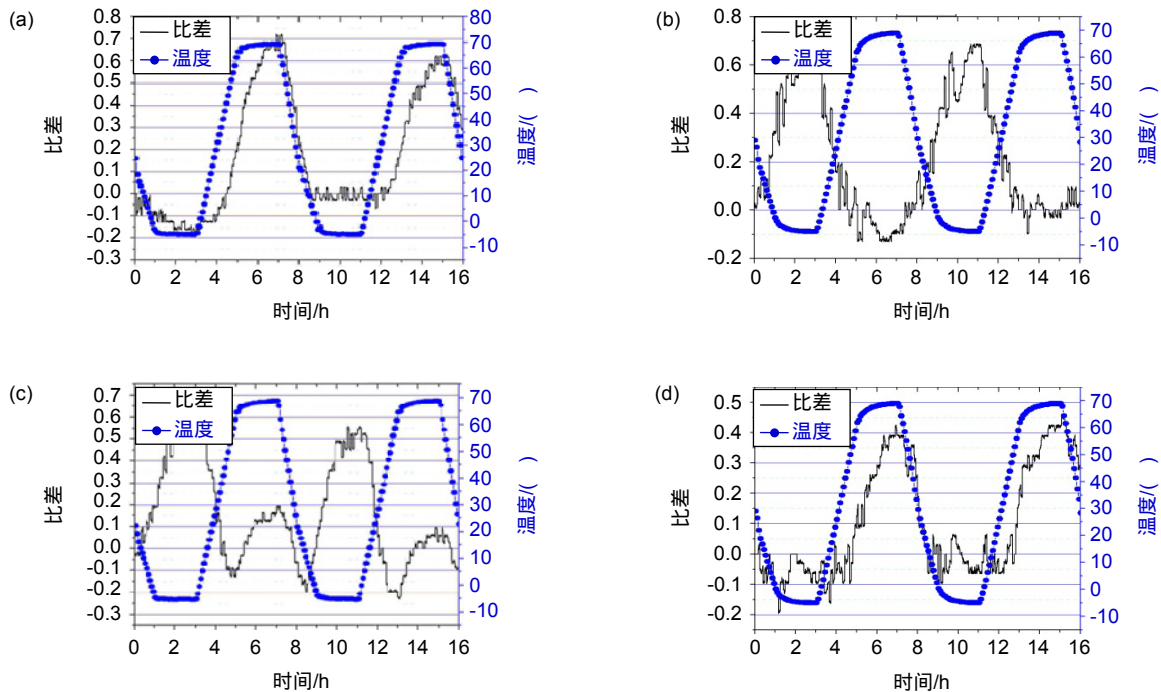


图 5 柔性光纤环的温度特性。(a) 8 圈; (b) 16 圈; (c) 30 圈; (d) 60 圈

Fig. 5 Temperature characteristics of flexible fiber rings with (a) 8, (b) 16, (c) 30, (d) 60 circles

表 1 不同圈数柔性光纤环测量电流测量精度表

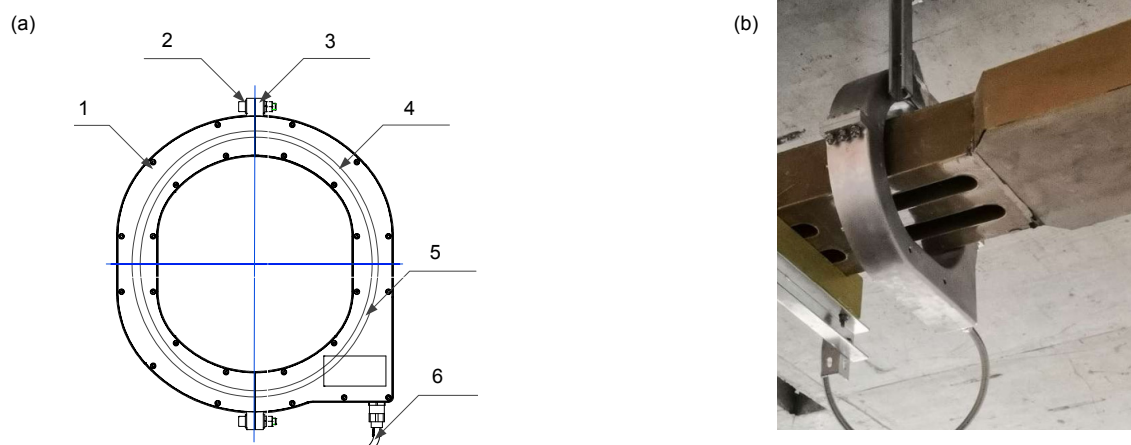
Table 1 Measuring current accuracy table of flexible fiber ring with different circles

稳流源 电流/A	8 圈/(%)	16 圈/(%)	30 圈/(%)	60 圈/(%)
0.2	-5.811	4.621	3.321	1.716
0.5	-3.320	2.340	1.321	0.676
1	0.198	-0.106	-0.941	-0.878
10	0.130	-0.120	0.110	-0.100
20	-0.055	-0.043	0.049	-0.057
30	0.052	0.050	-0.045	-0.040
40	-0.044	0.042	0.048	-0.041
50	0.041	0.040	-0.048	-0.047

表 2 互感器现场复测精度表

Table 2 On-site re-measurement accuracy table for transformers

序号	试验值	实测值	误差/%
1	0.3	0.29	3.3
2	0.5	0.49	2
3	1	1.01	1
4	2	2.03	1.5
5	5	5.04	0.8
6	10	10.05	0.5
7	30	30.13	0.43
8	50	50.10	0.2
9	60	60.29	0.48



1-左盖板; 2-右盖板; 3-左壳体; 4-右壳体; 5-压板; 6-光缆

图 6 全光纤电流互感器结构示意图

Fig. 6 The schematic diagram of all-fiber current transformer

本文设计的全光纤电流互感器应用于山西引黄工程发电机组的零序电流的测量,由于现场不断开管母,因此现场互感器需重新绕制光纤环。为了验证现场光纤环绕制精度,在现场对互感器精度进行复测,在零序光纤环(光 CT)中逐次通入电流(试验值),读取互感器的电流(实测值),现场测试结果如表 2 所示。由表 2 可知,现场重新绕制后互感器精度依然保证 0.5 级测量精度,同时在小电流下可以保证较高的精度,满足发电机组为实现选择性定子接地保护功能,可以推广到水电站发电机组保护场合中使用。

## 4 结论

本文研制的柔性全光纤电流互感器基于法拉第磁

光效应,设计了闭环光路,利用光路的互易原理,可以消除温度对于光纤环测量精度的影响,实现光学互感器的高精度测量。

该柔性全光纤电流互感器采用柔性光纤传感环,可以根据被测导体的形状进行绕制,避免了传统电磁互感器传感环受空间位置约束的局限,易于安装。

本文对不同圈数的柔性光纤传感环进行全温范围内的比差试验和电流精度试验,结果证明,温度对柔性光纤环测量精度影响较小,但是圈数较少时,柔性光纤环的测量精度较低。可以通过增加光纤环圈数的方式提高全光纤电流互感器的测量精度。

试验表明,本文研制的全光纤电流互感器具有小电流测量精度高、温度特性好,传感环可现场绕制等

优点,适应复杂环境内的电流测量,易于安装,因此可以广泛地应用到水电站发电机组保护场合中。

## 参考文献

- [1] Wang Q, Lu Y H, Liu Y, *et al.* Application status and development prospect of optical transformer in smart substation[J]. *Proceedings of the CSU-EPSSA*, 2016, **28**(12): 89–95.  
王谦, 陆宇航, 刘勇, 等. 光学互感器在智能变电站的应用现状与发展前景[J]. *电力系统及其自动化学报*, 2016, **28**(12): 89–95.
- [2] Xiao Z H. Study and comment of the optical transformers in power system[J]. *Power System Protection and Control*, 2014, **42**(12): 148–154.  
肖智宏. 电力系统中光学互感器的研究与评述[J]. *电力系统保护与控制*, 2014, **42**(12): 148–154.
- [3] Zhao J, Xu L G, Xu L. A polarization maintaining fiber temperature sensor based on all fiber optic current transducer[J]. *Power Electronics*, 2016, **50**(10): 70–72.  
赵俊, 许立国, 须雷. 基于保偏光纤温度传感器的全光纤电流互感器[J]. *电力电子技术*, 2016, **50**(10): 70–72.
- [4] Wang Z, Chu F H, Wu J P. Progress in all-fiber current sensor temperature compensation[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2014, **51**(12): 120005.  
王志, 初凤红, 吴建平. 全光纤电流传感器温度补偿研究进展[J]. *激光与光电子学进展*, 2014, **51**(12): 120005.
- [5] Wang X Q, Wang B J, Cheng H. Measurement of the elliptical birefringence inside the sensing fiber of an all-fiber optical current transducer[J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2015, **13**(2): 43–47.  
王晓琪, 汪本进, 程虎. 光纤电流互感器中传感光纤的椭圆双折射测量[J]. *光学与光电技术*, 2015, **13**(2): 43–47.
- [6] Tong W J, Yang C, Liu T Q, *et al.* Progress and prospect of novel specialty fibers for fiber optic sensing[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2018, **45**(9): 180243.  
童维军, 杨晨, 刘彤庆, 等. 光纤传感用新型特种光纤的研究进展与展望[J]. *光电工程*, 2018, **45**(9): 180243.
- [7] Wang J F, Liang J W, Dong Q M. Study of sensing coil errors in the in-line Sagnac interferometer current transducer[J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2011, **9**(10): 23–26.  
王景飞, 梁京伟, 董前民. 反射式 Sagnac 干涉光纤电流互感器的传感头误差研究[J]. *光学与光电技术*, 2011, **9**(10): 23–26.
- [8] Jiang Z Y, Zhang C X, Xu H J, *et al.* Study of fiber optic current transducer error due to linear birefringence[J]. *Optical Technique*, 2006, **32**(S1): 218–220, 223.  
姜中英, 张春焘, 徐宏杰, 等. 线性双折射对光纤电流互感器影响的研究[J]. *光学技术*, 2006, **32**(S1): 218–220, 223.
- [9] Wang H X, Guan Y P, Hu C C, *et al.* Temperature error of fiber optic current transformer[J]. *Electric Power Automation Equipment*, 2017, **37**(12): 200–204.  
王红星, 关远鹏, 胡春潮, 等. 全光纤电流互感器温度误差研究[J]. *电力自动化设备*, 2017, **37**(12): 200–204.
- [10] Yan C L, Wang Y, Luo S N, *et al.* FFOCT for generator protection[J]. *Electric Power Automation Equipment*, 2017, **37**(4): 191–196.  
阎端玲, 王耀, 罗苏南, 等. 用于发电机保护的柔性全光纤电流互感器[J]. *电力自动化设备*, 2017, **37**(4): 191–196.
- [11] Yin S Y, Zhang S C, Wu T. Temperature error analysis and temperature error compensation of the all fiber optic current transformer[J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2017, **54**(7): 16–21.  
尹士玉, 张世昌, 吴甜. 全光纤电流互感器温度误差分析与温度误差补偿[J]. *电测与仪表*, 2017, **54**(7): 16–21.
- [12] Xiao H, Liu B Y, Wan S W, *et al.* Temperature error compensation technology of all-fiber optical current transformers[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2011, **35**(21): 91–95.  
肖浩, 刘博阳, 湾世伟, 等. 全光纤电流互感器的温度误差补偿技术[J]. *电力系统自动化*, 2011, **35**(21): 91–95.
- [13] Luo S N, Cao D M, Wang Y, *et al.* Development and application research of  $\pm 800$  kV UHVDC fiber optical current transducer[J]. *High Voltage Apparatus*, 2016, **52**(10): 1–7.  
罗苏南, 曹冬明, 王耀, 等.  $\pm 800$  kV 特高压直流全光纤电流互感器研制及应用研究[J]. *高压电器*, 2016, **52**(10): 1–7.

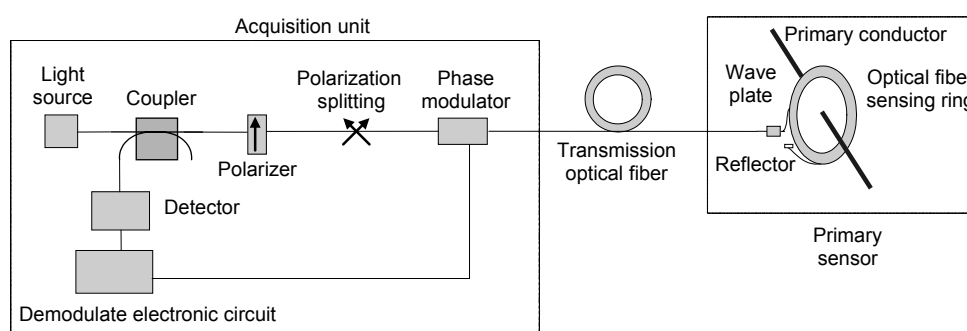
# Research and application of all-fiber optic current transformer based on optical reciprocity loop

Hao Zhaorong<sup>1</sup>, Wang Qiang<sup>1</sup>, Da Jianpu<sup>1\*</sup>, Luo Sunan<sup>2</sup>,

Wang Yao<sup>1</sup>, Zhang Guangtai<sup>1</sup>, Li Zhao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NR Electric Power Electronics Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu 213025, China;

<sup>2</sup>NR Electric Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 211100, China



Closed-loop optical path diagram of passive all-fiber current transformer

**Overview:** With the smart grid development and the increase of voltage level, demand for high current and high voltage measurement is increasing gradually, and the weakness of bulky insulation structure, easy magnetic saturation, low anti-interference ability and low precision of electromagnetic transformer are gradually exposed. The optical fiber current transformer designed in this paper has the advantages of high accuracy, simple insulation structure and strong ability of anti-interference, so it can meet the needs of smart grid development and the increase of voltage level. This transformer utilizes the principle of optical reciprocity to eliminate the influence of temperature and external disturbance on current measurement, so it realizes the high precision measurement. In order to verify the measurement characteristics of the optical reciprocal loop, the optical fiber sensing rings wound in different circles are placed in the temperature control box, and the measured value of the sensing rings and the standard current value are compared in the full temperature range. The results show that the sensing rings has the advantage of high precision and good temperature-reducing characteristics. Finally, the measured values of the different circles of optical fiber rings are compared with the standard current values in the full range. It is found that the more the circles of optical fiber sensing rings, the higher the measurement accuracy of optical fiber sensing rings. The Central Yellow River Diversion Project and Xiaolangdi Yellow River Diversion Project is an important project in the construction of Dashui Network in the “Twelfth Five-Year Plan” of Shanxi Province. The water supply range is wide. In order to ensure the reliable operation of the power system in the project, stator selective protection grounding system of hydropower station power station is gradually being promoted, and zero-sequence current as an important criterion for the device requires accurate measurements. The detection of the zero sequence current of the motor unit requires transformers with large measuring range, high precision of the small current measurement. In this paper, the optical fiber sensing ring of the transformer designed is a flexible structure, which can be directly wound on the spot according to the shape of the measured conductor, thereby avoiding the work of disassembling the measured conductor. Because the optical transformer designed has a large range, high precision in full range, and can be wound on the spot, it can be applied to the stator selective protection grounding system of hydropower station power station, which broadens the field of use of optical transformers.

**Citation:** Hao Z R, Wang Q, Da J P, *et al.* Research and application of all-fiber optic current transformer based on optical reciprocity loop[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2020, 47(4): 180671

\* E-mail: [dajp\\_br@nrec.com](mailto:dajp_br@nrec.com)