

# 光学电流互感器实时误差分析系统的设计

陈铭明<sup>1</sup>, 卢树峰<sup>1</sup>, 包玉树<sup>2</sup>, 梁凯<sup>3</sup>, 王少华<sup>1</sup>

(1.江苏省电力公司电力科学研究院,江苏南京 211103;2.江苏方天电力技术有限公司,江苏南京 211102;  
3.无锡供电公司,江苏无锡 214101)

**摘要:**光学电流互感器在江苏省智能变电站得到广泛应用,但投运后误差是否随着时间推移、电磁干扰、温度变化等因素大幅变化至今都没有相关实践数据。文中首先介绍了光学电流互感器的基本原理和存在问题,然后设计了误差比对装置的硬件构成和算法设计,最后通过江苏无锡西泾变的挂网运行,验证了比对分析系统的可行性。

**关键词:**光学电流互感器;误差;比对系统

**中图分类号:** TM452

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2013)02-0047-03

随着智能电网建设的深化推进,国网公司部署在多个省份开展智能化变电站的建设工作,光学电流互感器得到了广泛应用,对智能变电站的建设起到了引领和示范作用。各工程、科研相关机构对光学电流互感器投运后的误差运行状况密切关注,开展现场运行误差特性研究、为国网公司提供一线技术支持势在必行<sup>[1]</sup>。为保证光学电流互感器的现场误差良好,在出厂前必须在规程规定的一次电流和二次负载下对光学电流互感器做误差测试,运抵现场安装后再对光学电流互感器做现场误差测试,消除安装环节、现场环境对误差的影响。但在现有的技术条件下,光学电流互感器投运后,对其误差特性缺少跟踪分析能力,导致对光学电流互感器长期运行下的计量特性无法作出准确的评估。相应评价目前尚属空白。

光学电流互感器在出厂前要经过误差测试,合格方允许供货。但由于光学电流互感器对温度、振动均敏感,在经过现场安装后再复测误差往往不再合格。特别是对于光学电流互感器与合并器供货商不同的情况,光学电流互感器在出厂前的误差测试是基于互感器本体,但现场安装后数字信号是基于合并器送出的数据集,即使互感器本体误差合格,经过合并器环节的数据处理、延时设定等环节后误差有不同程度的漂移。根据现场运行和计量测试的需要,对光学电流互感器的现场测试必须带合并器一同测试,实际测试数据表明,光学电流互感器现场组装完毕带合并器测试绝大部分甚至全部超差,需要现场调校,然后复测方能在20%以上额定一次电流合格,对于轻载特别是5%额定一次电流以下时,误差漂移、瞬变严重,甚至无法读取合理的数据。光学电流互感器投运后的误差是否会随着运行时间的变化而大幅度变化?特别是在实际运行时各种电磁干扰环境下光学电流互感器还能否稳定运行、误差是否始终合格?此类问题迄今尚

没有相关实践数据,因此对光学电流互感器现场运行误差特性进行在线实时比对分析对于全面研究光学电流互感器误差特性、光学电流互感器贸易结算性能评估和智能变电站计量装置配置方案优化均有重要意义。当前,电子式互感器因其在绝缘、通信传输、数据综合处理等方面的优势引起科研界与工程界的高度重视和广泛关注。误差比对分析装置由采样单元、同步单元、运算单元和传输单元组成,利用现场运行误差实时比对,实现光学电流互感器的现场运行误差数据存储及远程分析,为光学电流互感器的运行误差分析提供数据依据,实现光学电流互感器的实时监测现场运行误差,适用于同时具备光学和电磁式电流互感器的智能变电站。

## 1 光学电流互感器基本原理

常见的光学电流互感器工作原理主要为法拉第效应、逆压电效应和磁致伸缩效应,其中以 Faraday 效应为其工作原理的 F 光学电流互感器常采用偏振检测方法或利用 Faraday 效应的非互易性采用 Sagnac 干涉仪实现检测<sup>[2,3]</sup>。由于 Faraday 效应具有非互易性。而光纤中的线性双折射具有互易性,二者之间这种差别使得采用 Sagnac 干涉仪实现电流传感成为很有吸引力的方案。Sagnac 干涉仪型 F 光学电流互感器又可分为环形结构和反射结构 2 种,其原理图如图 1、图 2 所示。其中,反射结构的光纤电流互感器具有优良的互易性和较强的抗外界环境干扰能力,是一个具有实用价值的光学电流互感器方案。

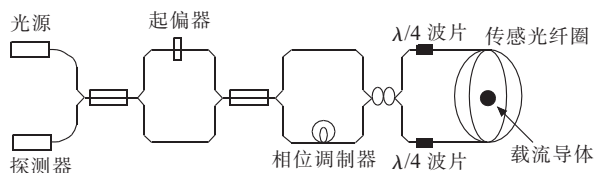


图 1 Sagnac 环形结构的 F 光学电流互感器原理图

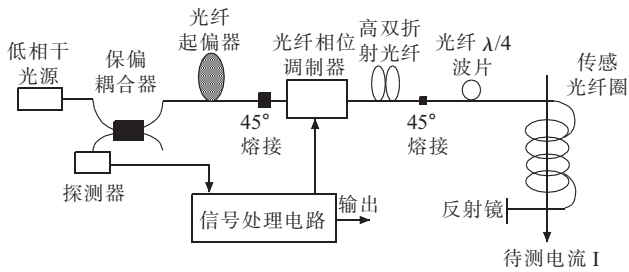


图2 Sagnac 反射结构的 F 光学电流互感器原理图

## 2 光学电流互感器存在问题

根据光学电流互感器的设计与制造工艺, 电流互感器的影响主要表现在置于户外的传感头的精度上。根据实际情况可分为下面两个温度源的影响: 一是缓慢变化的空间上均匀分布的环境温度; 二是变化复杂的空间上分布不均匀的温度。在均匀温度场中, 传感头中传播的光路径会因此发生变化, 进而使得光功率变化。对于这种影响可采用适当的数据处理方法来应对。在非均匀温度场中, 光学器件之间发生非均匀的热膨胀, 从而使之产生内应力, 引起附加温度应力双折射, 直接影响线偏振光的偏转角, 导致难以消除的测量误差<sup>[4-6]</sup>。光学电流互感器实现的最大困难是其本身的光学系统折射效应会随环境因素变化而变化, 从而影响整个系统的精度和稳定性。其根本原因在于光纤的线性双折射效应对测量结果的影响: 降低系统灵敏度、可靠性和稳定性, 使测量结果与被测电流在光路内的位置有关等。归结 F 光学电流互感器在应用中应关注的问题如下:

- (1) 使用寿命。寿命不仅和设计有关, 和材料元器件选择, 生产过程的工艺和质量控制也密切相关。
- (2) 温度的影响。温度变化对光源、光纤光路、敏感环等带来影响。
- (3) 长期运行稳定性。热老化、热循环、温度湿度循环、振动、热冲击、干热、湿热等。
- (4) 小电流信号下的测量准确度。由于光学电流互感器通过光学检测来获取信号, 其中必定含有光学散粒噪声, 光学传感器的输出都会有噪声, 其衡量指标与使用信号的宽带有关。所以测试零电流也会有输出, 即噪声, 不过该噪声的均值为 0。目前可以测到 1 A 的电流。

## 3 误差比对系统的工作原理与结构

误差比对系统由采样单元、同步单元、运算单元和传输单元组成。采样单元, 用于光学电流互感器一次电流信号及电磁式电流互感器二次电流信号的采样; 同步单元, 用于采集到的光学电流互感器一次电流信号及电磁式电流互感器二次电流信号同步; 运算单元, 用

于计算光学电流互感器的一次电流信号和电磁式电流互感器的二次电流信号有效值、相位及频率, 并进行实时角差和比差计算, 得到实时比对误差数据; 传输单元, 用于将得到的实时误差数据与后台服务器进行数据交互<sup>[7-9]</sup>。如图 3 所示。

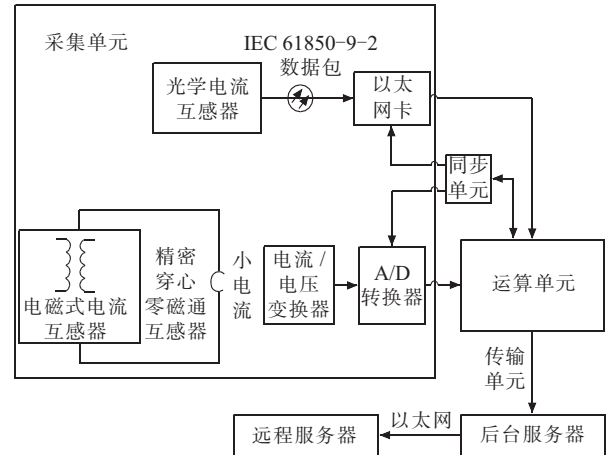


图3 光学电流互感器误差在线比对装置结构图

图 3 中采样单元包括精密穿心零磁通互感器, 用于将电磁式电流互感器 5 A 的二次电流转换成 10 mA 小电流信号; 电流 / 电压变换器, 用于小电流信号进行放大, 转换成电压信号; A/D 转换器采用 24 位的高精 A/D 转换器, 并以 4 kHz 的频率对电流 / 电压变换器输出的电压信号进行采样转换成数字信号, 供运算单元处理; 以太网卡, 用于光学电流互感器接收 IEC 61850-9-2 数据包, 并传输给运算单元处理, 所述精密穿心零磁通互感器的输入端与电磁式电流互感器的输出端相连接, 所述精密穿心零磁通互感器的输出端通过电流 / 电压变换器与 A/D 转换器的输入端相连接, 所述 A/D 转换器的输出端与运算单元相连接, 所述以太网卡的输入端与光学电流互感器的输出端相连接, 所述以太网卡的输出端与运算单元相连接, 所述以太网卡与 A/D 转换器设有同步单元。

同步单元在以太网卡接收 IEC 61850-9-2 数据包的同时记录 IEC 61850-9-2 数据包中 0 号包所对应的时标信息, 并输入给运算单元, 运算单元控制 A/D 转换器的采集频率, 实现同步采集, 运算单元还通过时标信息和 A/D 转换器的固有延迟时间进行同步的相位补偿。运算单元采用 DSP 处理器进行快速运算, 将电磁式电流互感器的二次电流的采样值进行快速傅里叶变换, 计算出有效值、相位及频率, 然后根据 IEC 61850-9-2 数据包中 0 号包所对应的时标信息和 24 Bit AD 的固有延迟时间, 补偿相位, 获得光学电流互感器与电磁式电流互感器的实时比对数据。传输单元采用 ARM 处理器, 将实时误差数据通过以太网与后台服务器进行数据交互。系统的硬件框图如图 4 所示。

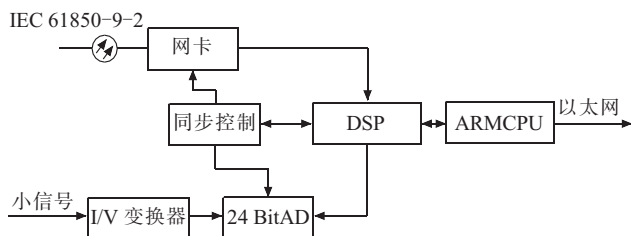


图4 比对系统硬件框图

## 4 比对算法

在线比对算法包括同步算法、误差比对算法和存储传输策略,其中同步是将光学电流互感器和电磁式电流互感器的电流信号进行同步控制,并传输给后续单元以便进行误差比对计算;误差比对是指通过数据处理单元模块进行幅值、频率、相位计算,并将两者进行比对得到实时比对误差;存储和传输策略是指大量比对误差数据本地存储和远程传输的控制策略。光学电流互感器比对系统算法控制流程如图5所示。

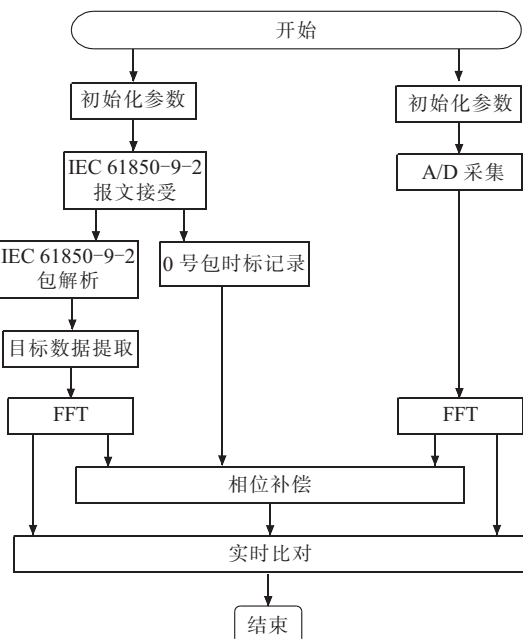


图5 光学电流互感器比对系统算法控制流程图

## 5 现场实施及效果

为保证挂网设备和电网设备的安全运行,现场安装设计方案采用传统电流互感器二次电流经精密电流互感器穿心两匝的方式获取二次模拟量电流信号,保证长期挂网运行的安全性,其原理如图6所示,为了验证电流环方式的准确性,比对装置的电流接口配置两套接插件,一套电流环式,一套回路接入式,在条件允许的情况下用短时间回路接入式的误差数据对电流环接入式的误差进行校核。

光学电流互感器实时误差分析装置挂网运行的4

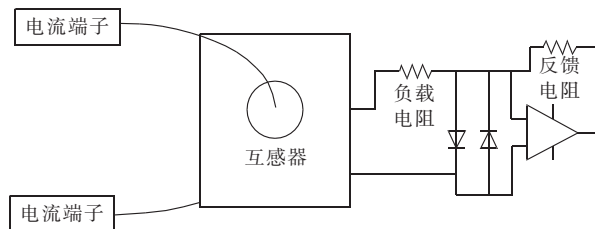


图6 现场挂网运行电流输入示意图

个月期间,运行安全,未发生任何设备、数据方面的问题,为光学电流互感器现场误差评估积累了大量的现场实时数据。

## 6 结束语

本文提出的光学电流互感器实时误差分析系统填补了国内光学互感器现场误差比对的空白。该方案通过实际研制已形成成品,并通过了误差校准测试以及电磁兼容测试,均符合挂网运行的技术条件。该装置并在无锡西泾变挂网运行4个多月时间,为光学电流互感器的运行误差分析提供数据依据,实现了光学电流互感器的实时监测现场运行误差,从而保证智能化变电站的电能计量的准确性和可靠性。

### 参考文献:

- [1] 王巍,张志鑫,杨仪松.全光纤式光学电流互感器技术及工程应用[J].供用电技术,2009,26(1):46-48.
- [2] 刘延冰,李红斌,叶国雄,等.电子式互感器原理技术及应用[M].北京:科学出版社,2009.
- [3] 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,2007,35(21):92-94.
- [4] 王夏霄,张春熹,张朝阳,等.光纤电流互感器 $\lambda/4$ 波片温度特性及其影响研究[J].激光与红外,2006,36(7):597-599.
- [5] 贾恺,姚寿铨.光纤 $\lambda/4$ 波片的温度特性[J].上海大学学报(自然科学版),2009,15(5):457-460.
- [6] 王立辉,伍雪峰,孙健,等.光纤电流互感器噪声特征及建模方法研究[J].电力系统保护与控制,2011,39(1):62-66.
- [7] 陈文中,林一,周健.数字化变电站全光纤电流互感器准确度校验[J].华东电力,2009,37(12):2022-2024.
- [8] 刘晔,王采堂,苏彦民.光学电流互感器线性双折射效应的补偿研究[J].光纤与电缆及其应用技术,1999(5):25-27.
- [9] 童悦.数字化输出的电子式电流互感器在线校验系统研制[J].高电压技术,2010,36(7):1742-1746.

### 作者简介:

陈铭明(1986),男,江苏南通人,工程师,从事电能计量工作;  
卢树峰(1972),男,山东高唐人,高级工程师,从事计量装置管理工作;  
包玉树(1963),男,江苏徐州人,高级工程师,从事高压计量工作;  
梁凯(1972),男,江苏无锡人,工程师,从事计量装置管理工作;  
王少华(1980),男,江苏盐城人,工程师,从事关口计量装置检测工作。

情况下使能标记不能够复归,从而使智能监控终端再下一次使能请求时失败,因此要求相关的测控设备厂家对程序作修改,从而满足工程需要。在项目施工中,有些小系统设备如直流、干变温度等不能提供针对MMS规约的支持,因此对这些设备,智能监控终端对此进行协议扩充,使这些设备满足接入要求,项目组对这类设备进行了基于IEC 61850的数据建模,为今后类似设备的接入提供了支持依据。

#### 4 结束语

系统的总体架构按照集中和分散模式设计,功能设计覆盖了居住区配电采集与应用的整个过程。建成了全国首个全IEC 61850标准化设备的一体化智能信息监控小区变和一套基于居住区配电系统典型的一体化智能信息监控平台,并成功投入应用,经半年多的运行证明,系统运行稳定可靠,达到了预期的建设目标。为居住区配电一体化管理模式创新进行了有益的探索。通过居住区配电房智能运行系统的研究和现场应用,解决了配电房内各类设备基于IEC 61850标准的模型建立问题,解决了信息的分层分类、智能传输和处理问题,实现各类设备的即插即用、信息共享。

随着相关技术的进步,可进一步提高一体化智能

监控终端的集成度和可靠性,提升终端信息采集、处理的智能化水平,实现装置自适应、自愈和免维护的运行目标。解决信息分区运行安全问题,实现小区营配信息的统一、高效传输。在推广应用过程中将不断完善系统主站和智能终端的功能配合和优化,增加小区变智能化安全、可靠、经济运行辅助功能,实现世界一流配电运行维护管理的新目标。

#### 参考文献:

- [1] 王 灿,吴菲菲. IEC 61850 数字变电站综合自动化系统[J]. 华中电力,2011,24(1):6-10.
- [2] 韩国政,徐丙垠. 基于 IEC 61850 的高级配电自动化开放式通讯体系[J]. 电网技术,2011,35(4):183-186.
- [3] 韩国政,徐丙垠. 基于 IEC 61850 标准的智能配电终端建模[J]. 电力自动化设备,2011,31(2):104-107.
- [4] 罗四倍,黄润长,崔 琪,等. 基于 IEC61850 标准面向对象思想的 IED 建模[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(17):88-92,121.

#### 作者简介:

- 刘 忠(1968),男,江苏扬州人,高级工程师,研究方向为配电自动化、电力系统可靠性分析、智能配用电;
- 谢 亮(1972),男,江苏苏州人,高级工程师,从事配电专业管理工作。

## Research and Practice of Intelligent Operating System for Distribution Room

LIU Zhong, XIE Liang

(1. Yangzhou Power Supply Company, Jiangsu Yangzhou 225001;

2. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China)

**Abstract:** This article describes the research of a residential area distribution room intelligent operating system solutions and on-site practice. The paper studies various types of equipment for the distribution room, to determine the standard model based on the IEC 61850 protocol, and new developed intelligent information terminal supporting the IEC 61850 protocol, achieving the goal of intelligent transmission and processing of information, plug-and-play of the various types of equipment and information sharing. Development of distributed intelligent operating platform of distribution room for the whole region, including intelligent operation control system and intelligent operation supporting system, solves the problem of safety and economic operation of a large number of unattended power distribution room, getting significant social and economic benefits.

**Key words:** intelligent operating system; distribution room; IEC 61850 protocol; intelligent information terminal

(上接第 49 页)

## The Design of Optical Current Transformer Real-time Error Analysis System

CHEN Ming-ming<sup>1</sup>, LU Shu-feng<sup>1</sup>, BAO Yu-shu<sup>2</sup>, LIANG Kai<sup>3</sup>, WANG Shao-hua<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China; 2. Jiangsu Frontier Electric Technologies Co. Ltd, Nanjing 211102, China; 3. Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214101, China)

**Abstract:** Optical current transformer has been widely used in Jiangsu Province, but there is not related practical error data with the time going, electromagnetic interference and temperature change. This paper firstly introduces the basic principle of optical current transformer and existing problems, the hardware and algorithm of error comparison device. Then, the device has been installed in Xijing Substation of Jiangsu Province, and proved to be feasible.

**Key words:** optical current transformer; error; error comparison device