光学电流互感器运行误差在线比对系统设计与应用

针对现阶段尚未完全掌握光学电流互感器现场运行状况的难题，研究了全光纤光学电流互感器的现场运行误差特性，采用与传统电磁式电流互感器并行运行的方法，研制了一种光学和电磁式电流互感器运行误差在线比对系统。经挂网运行表明，该系统实现了光学与电磁式电流互感器误差数据的比对分析，可在线实时获得光学电流互感器的运行误差，并可全面记录外界环境变化对光学电流互感器误差特性的影响，适用于光学电流互感器现场运行计量可靠性和环境适应性的监测与评估。

赵双双[1,2] 徐敏锐[1,2] 陈铭明[1,2] 陈 刚[1,2] 李志新[1,2]/1.江苏省电力公司电力科学研究院 2.国家电网公司电能计量重点实验室

赵双双/工程师

关键词/Keywords
光学电流互感器·
电磁式电流互感器·
运行误差·
在线比对·

近几年，智能电网与智能变电站的快速发展，推动了光学电流互感器的产品化和实用化进程。与传统电磁式电流互感器（Current Transformer，CT）相比，光学电流互感器（Optical Current Transformer，OCT）具有绝缘性能好、动态范围宽、无磁饱和和适于数字设备接口等优点[1-6]，被业界认为是传统CT的理想替代品。然而，由于光学电流互感器采用了大量电子元器件和光学元器件，虽然投运前已在实验室通过各类型式试验，在安装现场运行时仍易受外界环境变化（温度、振动等）影响，说明一些关键指标必须通过实际运行来反映。

目前，针对OCT现场运行稳定性、误差校验的研究已取得部分有益成果[7]。但在获得大范围应用之前，OCT的运行可靠性、准确性和环境适应性等性能是否真的满足电力系统高准确度的计量及保护要求，尚缺乏客观有力的研究成果。因此，亟需研发一种适用于现场运行的监测评估系统，有利于及时发现OCT误差变化，为攻克OCT现场运行稳定性、可靠性积累有效运行数据。

随着智能电网和智能变电站的深入推进，越来越多的OCT得到了大量应用，但是由于其现场运行性能易受环境因素的影响，相较之下，目前传统CT运行性能较稳定可靠。现阶段，智能变电站内多采用传统CT与OCT并行运行的设计方法。基于此，本文提出了一种OCT和传统CT运行误差在线比对方案，自主研发了OCT误差在线比对系统，并已挂网运行于某220 kV智能变电站内。相较于OCT的校验仪，该系统可不断电、在线实时监测OCT的现场实际运行状况，适于考核OCT在现场复杂环境下的计量可靠性和环境适应性，通过大量的运行比对数据，能够客观反应环境因素对OCT误差特性的影响，旨在为OCT在智能变电站中的推广应用提供客观、可靠的技术依据。

原理与设计

1. OCT原理

本文研究的OCT类型为反射型全光纤电流互感器，原理结构如图1所示。光源发出的光经过起偏器后起偏为线偏振光，通过45°熔接点变为偏振方向互相垂直的两束线偏振光。而后这两束光经过1/4波片后转换为左旋和右旋的圆偏振光，并进入传感光纤。经过一次法拉第（Faraday）磁光效应后背反射镜反射后，再次经历Faraday磁光效应。然后，

中国知网 https://www.cnki.net

两束光再次通过1/4波片后，恢复成为线偏振光进入偏振器发生干涉。干涉光信号经过耦合器进入光电探测器，探测器输出的电压信号被信号处理电路接收并运算，最后通过数字接口输出。

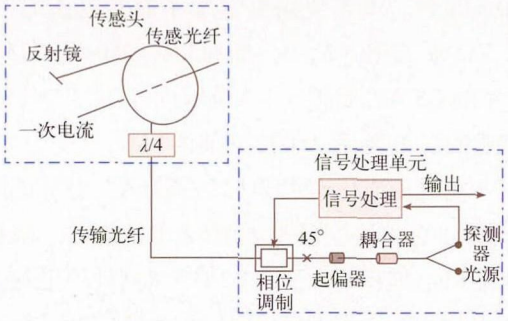

图1　OCT原理图

本文选用的OCT主要技术参数如下表所示。

表　OCT主要技术参数

额定电压/kV	额定电流/A	准确级	测量额定二次输出
220	2 500	0.2 S	2D41

2. 在线比对系统设计

2.1 系统构成

OCT运行误差在线比对系统包括CT信号通道、OCT信号通道和比对计算单元三部分，如图2所示，其基本原理为：将CT和OCT的输出分别通过标准通道和被测通道分别送到比对计算单元。比对计算单元在同一时间取两路输出信号，提取幅值和相位信息，比对计算出OCT的比差和相差。

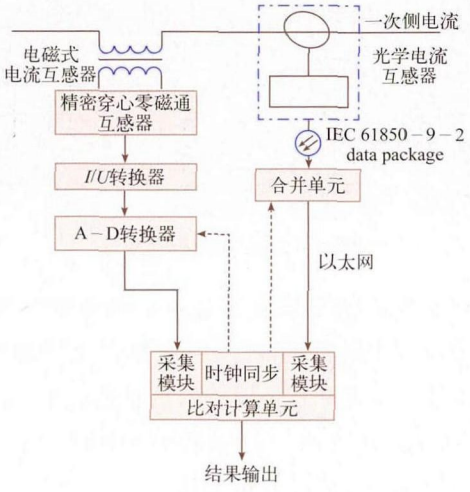

图2　光学电流互感器运行误差在线比对系统图

2.2 关键技术

（1）传统CT信号的模数转换

传统CT输出信号为模拟量，OCT输出信号为数字量，首先需要把传统CT的模拟量转换为数字量。由于传统CT的电流幅值、相位信号无法直接获取，本文采用高准确度穿心式电流互感器将传统CT的二次电流转换为采样所需的小电流信号，再通过并接高准确度电阻将小电流信号转换为小电压信号，通过A－D转换器后即可将传统CT信号接入比对计算单元，实现原理如图3所示。

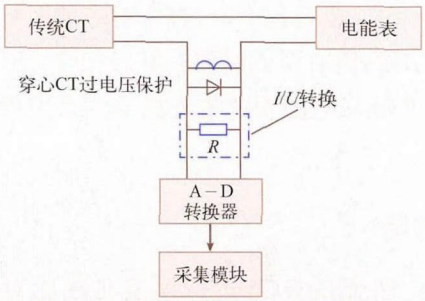

图3　传统CT信号的采集原理图

其中，精密穿心零磁通互感器将传统CT的5 A二次电流转换成10 mA小电流信号；通过高准确度电阻后小电流被转换成小电压信号，继续经24位的高准确度A－D转换器，以4 kHz的频率将小电压信号转换成数字信号，即实现了传统CT输出信号的模数转换。

（2）同步采样技术

为实现OCT与传统CT运行误差的准确有效比对，最重要的是需同时采集同一时刻OCT与传统CT的幅值和相位信息。

为了保证两路数据采集的同步性，本文通过时钟同步信号控制A－D转换器和合并单元的同步采样。比对计算单元在采集模块接收OCT的IEC 61850－9－2数据包的同时，记录数据包中0号包所对应的时标信息，并同时将时钟同步信号输送至A－D转换器，控制传统CT信号通道内A－D转换器的采集频率，采集同一时刻对应的传统CT的幅值、相位信息，即可实现同时采集同一时刻的传统CT和OCT输出信号。

（3）比对计算技术

IEC 60044－8中推荐的计算数字输出电子式互

中国知网　https://www.cnki.net

感器误差的方法主要有数字电桥法，傅里叶变换法，数字同步检测法。其中，因傅里叶变换法容易实现成为目前电力系统广泛应用的参数测量和估计方法。IEC 60044－8也定义了电子互感器比值误差和相位误差，本文不再赘述光学电流互感器的比差和相差的定义。

比对计算单元采用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（Fast Fourier Transform，FFT），计算出幅值、相位及频率，然后根据OCT的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误差比对数据。

现场应用

本文研制的OCT运行误差在线比对系统已安装挂网于某220 kV智能变电站内。该变电站内的传统CT准确度级别为0.05级，且运行状况良好。

为了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CT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，接线布局如图4所示。比对系统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。

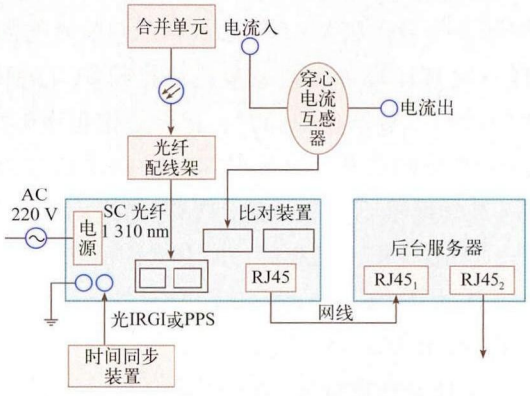

图4 OCT运行误差在线比对系统现场接线图

试验分析

受限于智能变电站线路运行条件，OCT接入的线路电流一般在电流互感器额定电流（I_n＝2 500 A）的30%以下。本系统采集记录了额定电流的5%、10%、15%、20%和25%（即125 A、250 A、375 A、500 A和625 A）附近±1 A范围内的OCT与传统CT比对后的误差数据，采样周期为1 s。

一次电流变化范围为125～625A，对应的OCT的比值误差和相位误差如图5和图6所示。依据国家计量检定规程JJG 313—2010《测量用电流互感器检定规程》，该OCT比值误差值超出了规程规定的0.2S级误差限值，相位误差在误差限值之内。因此，该OCT运行误差不满足0.2S级要求。

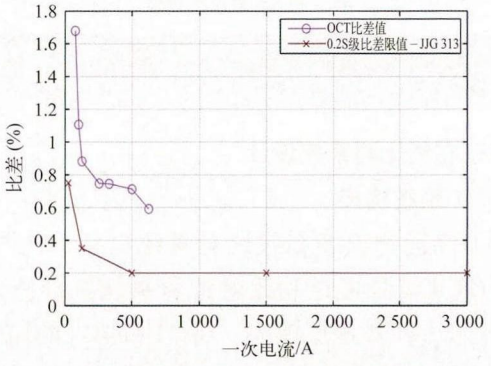

图5 OCT比值误差特性曲线

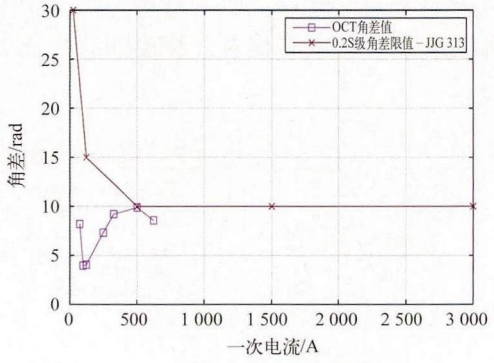

图6 OCT相位误差特性曲线

为了验证OCT误差重复性，从系统存储记录的误差数据中随机抽取了3组数据，图7和图8给出了OCT比值误差和相位误差的重复性。

图9和图10为在一次电流为500 A时，系统记录的OCT运行73天的误差稳定性。

受限于变电站现场安装条件，OCT安装在

中国知网 https://www.cnki.net

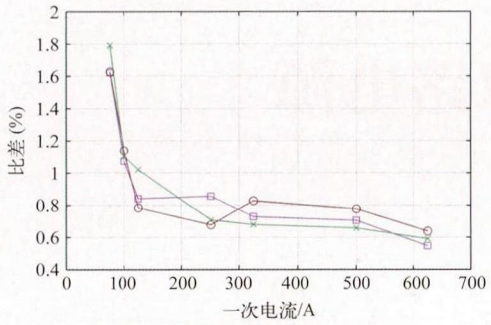

图7　OCT比值误差特性重复性

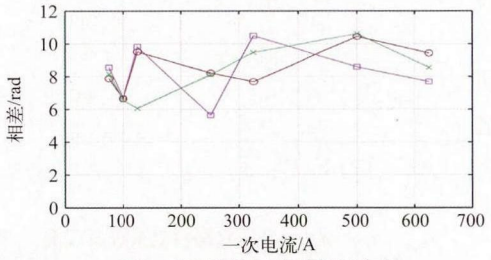

图8　OCT相位误差特性重复性

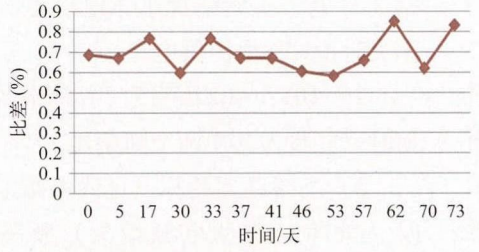

图9　OCT比值误差稳定性，一次电流为500 A

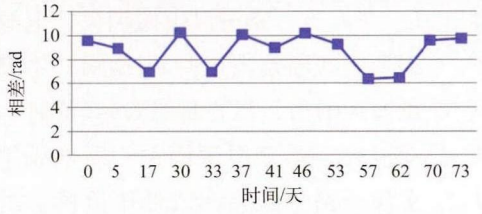

图10　OCT相位误差稳定性，一次电流为500 A

常温控制室内，周围环境温度几乎没有变化。因此，在该变电站内无法使用该系统监测OCT误差特性受温度变化的影响。未来工作中，将进一步寻找合适的变电站进行工程应用，研究分析温度变化对OCT误差特性的影响。

结束语

基于传统CT并行运行的方法，本文研制了一种OCT运行误差实时在线比对系统。相对于离线试验和型式试验，本文提出的在线比对方法更加能够真实反映OCT现场运行误差特性与环境适应性，该方法也适用于监测比对罗氏线圈、低功率线圈（LPCT）等其他原理的电子式电流互感器，形成对各类电子式电流互感器现场运行误差特性的全面评估能力。本文提出的将新型设备和传统设备并行运行，进行在线比对监测的方法，可推广应用至电力系统和其他领域，应用范围广泛，意义显著。

参考文献

[1] Katsukawa H, Ishikawa H, Okajima H. Development of an optical current transducer with a bulk type Faraday sensor for metering [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1996, 11 (2): 702-707.

[2] Ning Y N, Wang Z P, Palmer A W, et al. Recent progress in optical current sensing techniques [J]. Review of Scientific Iinstruments, 1995, 66 (5): 3097-3111.

[3] Yu Wenbin, Jiang Bo, Zhang Guoqing, et al. Experimental investigation on the performances of electronic current transformers [C]. International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP), 2011: 1235 - 1239.

[4] 陈刚，赵双双，陈铭明，等．光学电流互感器技术在电力系统中的应用 [J]．电气应用，2014，33 (20)：86-89.

[5] 刘晔，王采堂，苏彦民，等．电力系统适用光学电流互感器的研究新进展 [J]．电力系统自动化，2000，24 (17)：60-64.

[6] Melo da Costa, Weyl Albuquerque da Costa. On site metrological verification of high voltage current transformers using optical transducer [C]. J. C. Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC): IEEE, 2013.

[7] Branislav D, Eddy S. Calibration system for electronic instrument transformers with digital output [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2005, 54 (2): 479-482.

（收稿日期：2015－04－16）EA

中国知网　https://www.cnki.net