

## 全光纤电流互感器现场运行误差特性研究

秦冉<sup>1</sup>, 王倩倩<sup>2</sup>, 杨世海<sup>1</sup>, 徐志峥<sup>3</sup>, 周赣<sup>2</sup>

(1.江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103; 2.东南大学, 江苏南京 210096;

3.无锡供电公司, 江苏无锡 214101)

**摘要:**为分析全光纤电流互感器(FOCT)的误差特性,建立了FOCT在线测试系统,采集FOCT现场运行数据,并与标准电流互感器所测数据进行对比,分析FOCT比差、角差随一次侧电流变化的误差特性。结果表明FOCT角差能够达到0.2S级测量精度,而比差却远不能满足精度要求。

**关键词:**全光纤电流互感器;比差;角差;误差特性

**中图分类号:**TM63

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2013)02-0007-03

近年来,随着变电站自动化和网络通信技术的飞速发展,特别是IEC 61850标准体系的颁布和推行,传统的变电站已逐步向智能化变电站过渡。电子式互感器作为智能化变电站的基础和重要组成部分,其发展和应用受到了广泛的关注。其中,全光纤电流互感器(FOCT)以其先进的技术优势成为新型电流互感器发展和应用的主流<sup>[1-3]</sup>。但是在运行环境变化时,FOCT仍然存在稳定性和可靠性的问题。

## 1 FOCT 测试系统

文献[1-4]详细介绍了FOCT的原理。FOCT在线测试系统框图如图1所示。

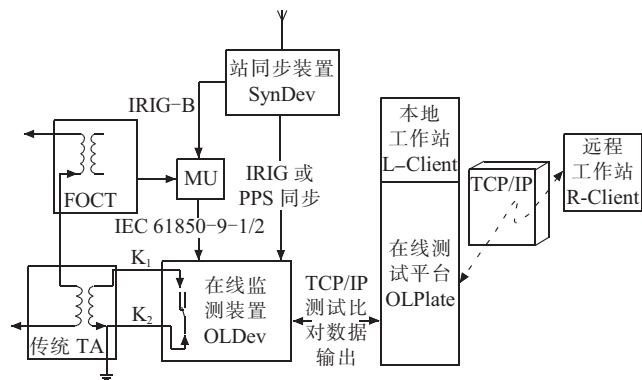


图1 FOCT在线测试系统框图

该测试系统是福建亿榕信息技术有限公司在DST100电子式互感器校验仪和OMS在线测试系统的技术基础上,优化设计了采集装置和系统方案,使该系统专注于光学互感器角差、比差等反映其现场运行状态特征量的计算和采集,以及该类信息的收集、汇总、存储和远程推送等功能应用;用户可通过远端/现场的客户端,配置系统和获取目标误差数据。传统电磁式电流互感器和被测FOCT准确级均为0.2S。在线测试系统装置所采用的FOCT主要技术参数如表1所示。

表1 FOCT主要技术参数

FOCT型号	额定电压/kV	额定电流/A	准确级	测量额定二次输出
NAE-GL220G-N2	220	2 500	0.2S	2D41

FOCT在线测试系统原理如图2所示。

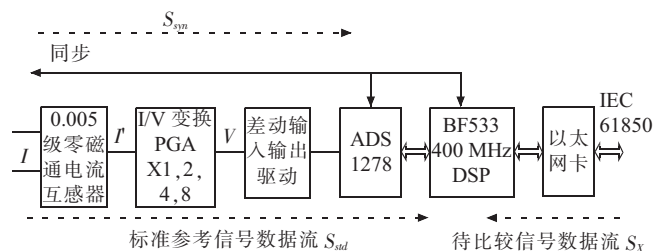


图2 FOCT在线测试系统原理图

FOCT误差在线测试装置主要由6个模块,共2条信号采集支路构成。

### 1.1 模块功能

- (1) 0.005级零磁通高精度电流互感器模块:将传统电磁式电流互感器的二次电流 $I$ 转换为采样所需的小电流信号 $I'$ ;
- (2) 具备可编程增益电路的电流/电压转换模块:将小电流信号 $I'$ 调理成合适的电压信号 $V$ ;
- (3) 差分输入输出的驱动模块:抑制信号的共模误差;
- (4) ADS1278模块:电压模拟信号的采集;
- (5) BF533 DSP模块:系统管理和应用计算等;
- (6) 以太网卡模块:IEC 61850 SMV数据报文的接收。

### 1.2 采样数据的同步

- (1) 外同步:站级外同步装置为本测试装置(和待测FOCT/MU)提供了同步信号(秒脉冲/IRIG-B码),确保被测信号和标准信号的秒同步采集;同时,本测试装置的AD采样率根据合并单元的采样率设置,确保被

检信号和标准信号每帧同步,同时也便于准确快速地计算和分析。

(2) 内同步:为获取同步采样值序列,该装置不使用在数据源同步获取数据的方法,而是采用异步采集、同步计算的方式,通过延迟补偿、线性插值等算法,在同步节点计算得出连续的“同步采样值”。

本测试装置主要完成光学电流互感器误差测试系统相关测试参数的在线采集、FOCT的角差/比差计算、本地存储和上报。同时具备测试的角差/比差越限时报警,并记录和上报该时刻的两路比较信号。本文采集了2012年6月至10月之间共72天的比差、角差及一次侧电流数据,采样周期为1s。本文采用传统电磁式电流互感器的准确级为0.2S级,与FOCT的准确级相同,由文献[5,6]分析可知,不可避免会产生测量误差。以下所涉及数据分析均忽略传统电磁式电流互感器测量产生的误差。

## 2 FOCT 误差特性分析

### 2.1 比差和角差

根据 IEC 6004-8 标准,比差定义为标准互感器二次侧输出电流的幅值为  $A_1$ ,FOCT 二次侧输出电流的幅值为  $A_2$ ,比差  $F$  的表达式为<sup>[7]</sup>:

$$F = \frac{A_2 - A_1}{A_1} \times 100\% \quad (1)$$

角差的定义为标准互感器二次侧输出电流的角度为  $\alpha_1$ ,FOCT 二次侧输出电流的幅值为  $\alpha_2$ ,比差  $Q$  的表达式为:

$$Q = 60(\alpha_2 - \alpha_1) \quad (2)$$

其中,相位误差的单位是角度( $^\circ$ )。0.2S 级电流互感器在 1%,5%,20%,100%和 120%额定电流下的误差限值如表 2 所示。

表 2 0.2S 级电流互感器的误差限值

准确级	额定电流 / %	比值误差 / %	相位误差 / ( $^\circ$ )
	1	0.75	30
	5	0.35	15
0.2S	20	0.2	10
	100	0.2	10
	120	0.2	10

### 2.2 数据分析

由于此次是工程应用下的实地测量,工程方考虑到该地区以后的发展等因素,为仪器留了足够多的裕量,所以 FOCT 不能在额定点附近运行。数据采集的过程中仅涉及到互感器额定电流 30% 以下的的数据。对额定电流 5%,10%,15%,20%,25% (即 125 A,250 A,375 A,500 A,625 A) 附近  $\pm 1A$  范围内的测量数据进行

提取分析,并计算比差、角差的均值和方差,并将比差和角差的均值作为实际的比差和角差,结果如下。

(1) 72 日总数据分析结果如表 3 所示。

表 3 总数据结果

精度	0.2S				
电流	5%	10%	15%	20%	25%
比差限值	0.35	—	—	0.2	—
实际比差	0.847	0.837	0.742	0.672	0.633
角差限值	15	—	—	10	—
实际角差	10.0	10.0	9.5	9.8	9.9

注:“—”表示国标没有作出具体规定,但此处标准比差限制范围为 0.2~0.35,标准角差限制范围为 10~15,下同。

由表 3 可知,实际比差与标准比差限制值相差较大,不能满足电流互感器 0.2S 级要求;而角差可以满足 0.2S 级要求。数据分析如图 3 所示。

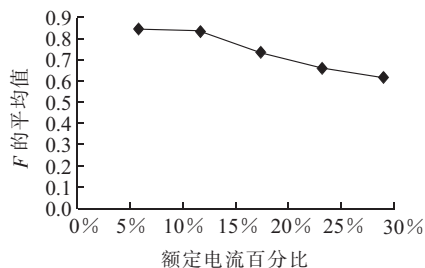


图 3  $F$  平均值-额定电流百分比

由图 3 可知,随着测量电流的逐渐增大,比差  $F$  的平均值逐渐变小。由此可以得出:在允许测量范围内,一次侧电流越大,FOCT 受到的干扰程度越小,测量精度越高。 $F$  方差-额定电流百分比如图 4 所示。

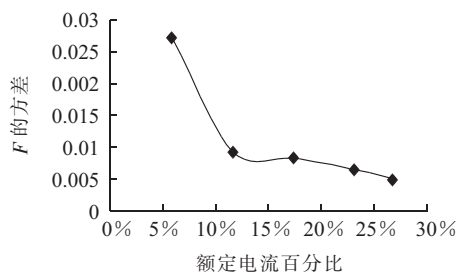


图 4  $F$  方差-额定电流百分比

图 4 中,随着测量电流的逐渐增大,比差  $F$  的方差逐渐变小,并且从 5% 到 10% 一段变化趋势十分明显。可以得出如下结论:一次侧电流越大,FOCT 测量稳定性越高,且当一次侧电流值超过额定电流的 10% 时,FOCT 的测量精度较之前有显著改善。 $Q$  平均值-额定电流百分比如图 5 所示。

由图 5 可知,角差  $Q$  并无明显规律,仅呈现波动下降的趋势,但是由于角差的范围已满足 0.2S 级的测量精度,所以角差的波动对 FOCT 性能的测量精度并无影响。 $Q$  方差-额定电流百分比如图 6 所示。

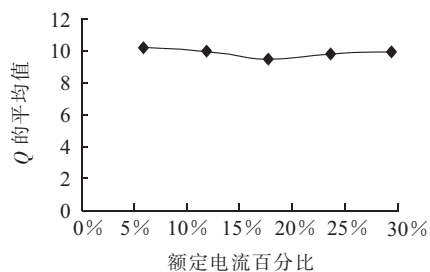


图5 Q平均值-额定电流百分比

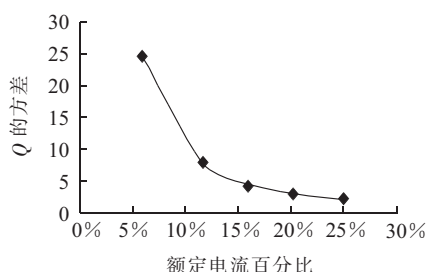


图6 Q方差-额定电流百分比

由图6可知, $Q$ 的方差随着一次侧电流的增大而减小并趋于稳定。由此进一步说明FOCT在允许测量范围内,一次侧电流越大,测量越精确。

(2) 对不同月份测量数据结果进行分析。不同月份用电量存在明显的差别,即一次侧电流大小不同,因此,有必要对6月至10月不同月份采集的数据分别进行分析计算。6月至10月的数据结果如表4—8所示。

表4 6月数据结果

精度	0.2S				
电流	5%	10%	15%	20%	25%
比差限值	0.35	—	—	0.2	—
实际比差	0.780	0.791	无	无	无
角差限值	15	—	—	10	—
实际角差	10.0	8.8	无	无	无

注:“无”表示该月不存在该有关数据,下同。

表5 7月数据结果

精度	0.2S				
电流	5%	10%	15%	20%	25%
比差限值	0.35	—	—	0.2	—
实际比差	无	0.809	0.741	0.647	0.595
角差限值	15	—	—	10	—
实际角差	无	9.9	9.6	10.0	9.7

表6 8月数据结果

精度	0.2S				
电流	5%	10%	15%	20%	25%
比差限值	0.35	—	—	0.2	—
实际比差	无	0.820	0.736	0.661	0.649
角差限值	15	—	—	10	—
实际角差	无	9.7	9.4	9.7	10.1

表7 9月数据结果

精度	0.2S				
电流	5%	10%	15%	20%	25%
比差限值	0.35	—	—	0.2	—
实际比差	0.839	0.849	0.797	0.724	无
角差限值	15	—	—	10	—
实际角差	10.5	10.3	9.5	9.8	无

表8 10月数据结果

精度	0.2S				
电流	5%	10%	15%	20%	25%
比差限值	0.35	—	—	0.2	—
实际比差	0.892	0.901	无	无	无
角差限值	15	—	—	10	—
实际角差	9.7	8.6	无	无	无

由表4—8可知,实际测量到的角差除个别超出标准角差限制,其他均满足0.2S级电流互感器的要求。由于测量到的电流仅限制在30%范围以内,不能连续变化,不能排除当月其他原因对测量精度的影响。而实际比差远超出标准比差限制,达到标准比差的2倍以上,远不能满足0.2S级电流互感器的要求。

此外,研究中对数据进行了回归拟合方程的分析,建立比差/角差和一次侧电流的非线性回归拟合方程,进而对比差和角差进行补偿。现场FOCT与SF<sub>6</sub>气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)配套封装,基本不受外界气温的变化,所以本文不考虑气温的变化对FOCT误差特性的影响。由于测量条件的局限性,暂且不能对FOCT的误差特性进行全面的分析。但是,国内对FOCT运行现场的数据采集与误差分析尚缺乏大量相关实践数据,本文科学评估FOCT运行误差特性,可以为相关应用分析提供关键技术支持和第一手资料。

### 3 结束语

FOCT比差随一次侧电流的变化具有规律性,即在允许测量范围内,一次侧电流越大,比差 $F$ 的平均值越小,测量精度越高;角差 $Q$ 随一次侧电流的变化并无明显规律。综上所述,FOCT在现场运行中,角差能够满足0.2S级的测量精度,而比差远不能满足精度要求。数据测量过程中不可避免存在误差,比如所选传统电磁式电流互感器引入的误差、软件设计和有限字长效应引入的误差、A/D转换器的转换精度引入的误差、零磁通高精度电流互感器引入的误差及数据采集和转换过程中引入的误差等。在后续工作中,研究人员会对此做深入的分析。在今后相关的研究分析中,希望能够扩大一次侧电流的测量范围,考虑到温度、振动等因素的影响,以便对FOCT特性进行更深入和全面的研究。

利用能耗水平等细化的量化指标来评价脱硫石膏制造和利用企业,做到均衡发展和统筹兼顾。督促燃煤电厂加强对脱硫装置运行的管理。燃煤电厂应提高脱硫装置的运行可靠性,强化脱硫装置的运行调整,确保稳定脱硫石膏品质,为脱硫石膏综合利用创造良好的条件。

#### 参考文献:

- [1] 中国电力企业联合会. 中国电力行业年度发展报告[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [2] 刘宁锴. 江苏省污染源普查工业源脱硫石膏产生、处置、利用状况分析[J]. 价值工程, 2009(2): 186-187.
- [3] 刘涛, 薛建明, 王晓明, 等. 湿法烟气脱硫石膏资源化深度利用[J]. 中国电力, 2009, 42(8): 65-69.
- [4] 曹志强. 利用脱硫石膏生产纸面石膏板的工艺技术[J]. 粉煤灰, 2009(4): 41-42.

- [5] ISHIKAWA Y, WU C N, YAJIMA N. Current State and Future Prospect of CCPs Utilization Technology in Japan [R], 济南: 第七届水泥与混凝土国际会议, 2010.
- [6] 耿春女, 钱华, 李小平, 等. 脱硫石膏农业利用研究进展与展望[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 07(12): 15-19.

#### 作者简介:

- 刘涛(1979), 男, 江西南昌人, 工程师, 从事火电厂脱硫、脱硝技术及循环经济产业化研究开发工作;
- 朱林(1964), 男, 上海人, 高级工程师, 从事火电厂噪声、固废综合利用技术及循环经济产业化研究开发工作;
- 薛建明(1964), 男, 江苏姜堰人, 研究员级高级工程师, 从事火电厂脱硫脱硝、脱汞及资源化利用技术产业化研究管理工作;
- 周迁(1948), 男, 江苏南通人, 研究员级高级工程师, 从事工业环境保护产业化管理研究工作。

## FGD Gypsum Emissions of Coal-fired Power Plants in Jiangsu Province and Comprehensive Utilization Countermeasures

LIU Tao<sup>1</sup>, ZHU Lin<sup>1</sup>, XUE Jian-ming<sup>1</sup>, ZHOU Qian<sup>2</sup>

(1. GuoDian Science and Technology Research Institute, Nanjing 210031, China;

2. Jiangsu Environmental Protection Industry Association, Nanjing 210036, China)

**Abstract:** This paper introduces the emissions as well as the utilization condition of FGD gypsum of coal-fired power plants in Jiangsu Province. The emission characteristics, utilization approaches and the main problems of the FGD gypsum in coal-fired power plants are analyzed. Prediction of the FGD gypsum emissions of power industry in Jiangsu province during the "12th Five-year Period" is also made. Finally, considering the effects of various constraints, measures aiming to fully utilize the FGD gypsum are also proposed.

**Key words:** FGD gypsum; situation; prediction; countermeasures

(上接第9页)

#### 参考文献:

- [1] 王政平, 康崇, 张雪原, 等. 全光纤光学电流互感器研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2005, 42(3): 36-39.
- [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] 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, 2009, 26(1): 46-48.
- [4] 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.
- [5] 郭伟, 张红超, 于朝辉. 电子式互感器模拟输出校准系统[J].

电力系统保护与控制, 2010, 38(6): 49-51.

- [6] 尚秋峰. 光电电流互感器测试与校验方法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(9): 77-81.

#### 作者简介:

- 秦冉(1985), 男, 江苏常州人, 助理工程师, 从事关口计量工作;
- 王倩倩(1988), 女, 山东济宁人, 研究生在读, 电气工程专业;
- 杨世海(1976), 男, 安徽淮北人, 高级工程师, 从事计量管理工作;
- 徐志峥(1976), 男, 江苏无锡人, 工程师, 从事计量管理工作;
- 周赣(1978), 男, 江苏镇江人, 讲师, 研究方向为电机与电器。

## Research on Field Operation Error Character of Fiber Optical Current Transformer

QIN Ran<sup>1</sup>, WANG Qian-qian<sup>2</sup>, YANG Shi-hai<sup>1</sup>, XU Zhi-zheng<sup>3</sup>, ZHOU Gan<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China;

2 Southeast University, Nanjing 210096, China; 3. Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214101, China)

**Abstract:** To analyze fiber optical current transformer (FOCT) error characteristics, the FOCT online test system is established. The system gathers error data of FOCT and compares it with the error data of the standard transformer. It analyzes the error characteristics with the current changing. The result shows that the phase error of FOCT is able to reach 0.2S measurement accuracy, and ratio error can't reach the same accuracy totally.

**Key words:** fiber optical current transformer; ratio error; phase error; error characteristics