

基于高精度采集卡的电子式互感器校验系统设计

张明珠¹, 李开成², 李振兴², 易杨²

(1. 许昌学院数学科学学院, 河南 许昌 461000; 2. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 提出了以高精度 PCI-4462 数据采集卡实现校验系统标准互感器数据采集及电子式互感器模拟输出信号采集, 以 PCI 数据同步卡发出的同一光电脉冲信号实现校验系统的同步采样, 采用先进的数字滤波器技术和基于汉宁窗插值的 FFT 改进算法实现被测信号的精确计算比较, 基于 LabVIEW 虚拟仪器技术软件的人机界面和自适应 IEC61850 9-1/9-2 通信设计, 能兼顾对数字输出和模拟输出的电子式电压/电流互感器进行校准。系统试验表明该校验系统可以满足校验 0.2 级精度等级的电子式互感器校验要求。

关键词: 校验系统; 电子式互感器; PCI-4462; 数据同步; LabVIEW

Design of calibration technology of electronic transformers based on high-precision acquisition card

ZHANG Ming-zhu¹, LI Kai-cheng², LI Zhen-xing², YI Yang²

(1. School of Mathematical Sciences, Xuchang University, Xuchang 461000, China;

2. School of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Standard data acquisition and analog output signals acquisition of electronic transformer are completed with high-precision PCI-4462 data acquisition card, data synchronization based on the same optical pulse of PCI synchronization card is achieved, the measured signals are accurately calculated by using advanced digital filter technology and Hanning window interpolation based improved FFT algorithm, the human-computer interface are designed based on LabVIEW virtual instrument software, and the adaptive communication technology are designed based on IEC61850 9-1/9-2. The calibration system can take into account pairs of digital output and analog output of the electronic voltage/current transformer calibration. The results of system test show that the calibration system can meet requirements of the calibration accuracy class 0.2 electronic transformer calibration.

Key words: calibration system; electronic transformers; PCI-4462; data synchronism; LabVIEW

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)15-0114-05

0 引言

近些年来, 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, 传统的变电站已逐渐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的组成部分, 其发展和应用受到了广泛的关注^[1-2]。电子式互感器的二次输出与传统互感器的二次输出不同, 分为数字输出和模拟输出两种, 对电子式互感器的输出, 国际电工委员会做出了相应的标准化工作, 分别于 1999 年发布 IEC60044-7 (电子式电压互感器) 和 2002 年发布 IEC 60044-8 (电子式电流互感器) 标准。国内已经将这两部标准等同采用并转化为相应的国标: GB 20840. 7-2007(电子式电压互感器)和 GB 20840. 8-2007(电子式电流互感器)。

但对此类互感器目前还没有现成的误差测量装置来校验其误差, 而传统的校验设备又不能满足要求, 为适应市场的要求, 加速电子式互感器实用化进程, 目前也有一些电子式互感器校验仪的研究^[3-6]。

本文设计采用高精度数据采集卡作为标准互感器的采集系统, 基于 LabVIEW 虚拟仪器技术设计的电子式互感器校验系统能兼顾对数字输出和模拟输出的额定电压为 10~500 kV 电压等级的电子式电压互感器和额定电流为 5~5000 A 的电子式电流互感器进行校准, 在数据同步上采用同一脉冲信号进行同步采样处理, 在采样数据计算上采用基于汉宁窗插值的 FFT 改进算法, 不仅能满足高精度的采样, 同时系统对被测信号的高频干扰和频率波动不敏感, 具有很好的稳定性和可靠性。

1 系统构成

由于合并单元、电子式互感器和通信网络的紧密关系, 单纯测试合并单元或电子式互感器的意义都不大。本文设计的电子式互感器校验系统能够同时对 IEC60044-7/8 标准规定的电子式互感器数字输出(既可以通过合并单元与系统相连, 也可以是合并单元通过交换机与系统相连)或模拟输出信号进行校验, 其原理图如图 1、图 2 所示。

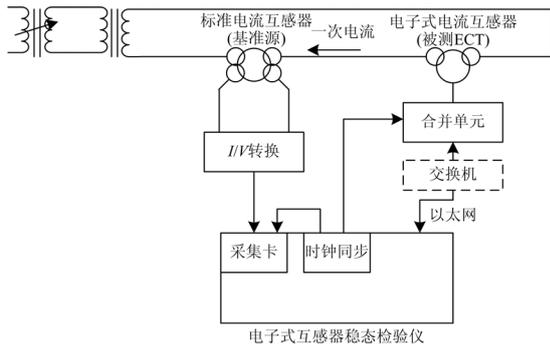


图 1 数字式输出电子式电流互感器校验原理图

Fig.1 Channel definition of unit merging

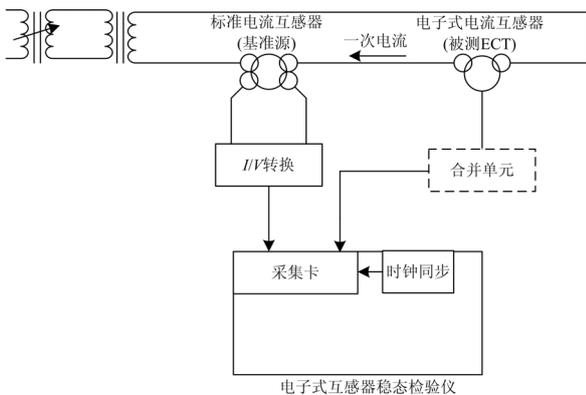


图 2 模拟式输出电子式电流互感器校验原理图

Fig.2 Channel definition of unit merging

图中虚线部分的有无对应不同情况下的互感器输出校验接线方式。

本系统设计具有鲜明的微机化仪器特征, 其信号采集、信号同步等硬件都集中于一台工业工控机当中, 信号处理等功能均由软件实现。该研制方案的特点是利用软件实现对被校验电子式互感器与标准互感器间的比差、角差、频率、谐波含量等多项性能指标的测量。该系统功能主要由信号转换单元、数据采集单元、信号同步单元、工业工控机、和 LabVIEW2008 软件程序等组成。

(1) 信号转换单元 (I/V 转换)。该单元主要针对电流互感器校验环节设置的, 功能目的就是

标准电流互感器的二次电流输出信号转换为电压信号, 以便数据采集卡能够正常读取。信号转换单元一般采用分流器或精密电阻两种方法。

(2) 数据采集单元。该单元硬件主要采用美国 NI 公司生产的 PCI-4462 高精度数据采集卡, 基本功能如下:

4 路同步模拟输入 (AI), 24 位 sigma-delta 模数转换器 (ADC);

采样速率达 204.8 kS/s;

输入范围 $\pm 316 \text{ mV} \sim 42.4 \text{ V}$ 的 6 种增益设置;

内置式防混叠和 TEDS 功能;

1 路同步采样触发输入 (PFIO)。

基于该卡的高精度采样, 抗干扰能力强, 特别是对现场干扰比较大的环境场所, 在测试小信号时体现出更高的优势, 重要的是该卡和 LabVIEW 软件均由 NI 公司生产, 两则的兼容性和该卡的驱动都由 NI 公司提供, 缩短了开发过程, 加快研发进度, 同时也提高产品的稳定性。

(3) 信号同步单元, 校验系统的关键也体现在信号的同步上, 即标准互感器信号与电子式互感器信号采集过程必须同步采样, 否则校验计算的结果缺乏任何意义, 具体内容在下一节详细介绍。

(4) LabVIEW 虚拟技术。LabVIEW2008 是 2008 年 NI 公司推出可应用于控制、测试及嵌入式系统开发的图形化系统设计平台, 它不仅可以用来快速搭建小型自动化测试系统, 还可以用来开发大型的分布式数据采集与控制系统。

2 数据同步

信号同步是电子式互感器校验系统设计的关键, 本系统开发的具有输出同步脉冲和触发脉冲功能的 PCI-同步卡, 该卡插在工控机 PCI 插槽上, 方便使用, 同时能够驱动两路电信号和两路光信号的同步脉冲以满足不同同步方式的合并单元需要。系统同步卡硬件框图如图 3 所示。

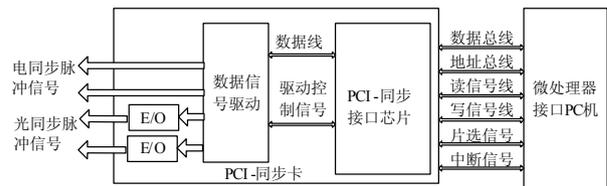


图 3 同步触发卡系统框图

Fig.3 Channel definition of unit merging

同步触发卡的电同步脉冲是触发 PCI-4462 采集卡启动采样时刻; 光同步脉冲 (也可以电同步脉

冲)用来同步合并单元时钟,以使合并单元的采样节拍与采集卡同步。图4显示了同步秒脉冲信号的技术要求。

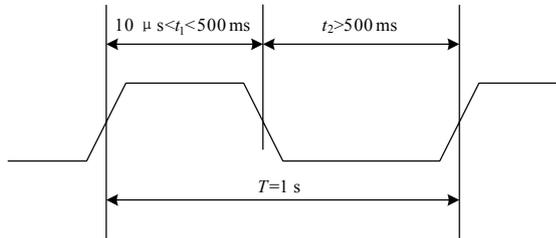


图4 同步脉冲的技术要求

Fig.4 Channel definition of unit merging

同步秒脉冲接收信号的上升沿,触发光功率为最大光功率的50%。时钟频率为1 Hz。一般由合并单元检查时钟输入的合理性,当相邻脉冲间隔时间与理想间隔时间(1 s)相差大于10 μs时认为同步脉冲输入不正常,同时按照IEC61850-9标准上送的同步状态为1。否则合并单元达到同步,同时按照IEC61850-9标准上送的同步状态为0。在系统检验时,只有合并单元到达同步时方可进行校验。

3 系统通信

系统通信主要指校验系统与合并单元的通信,随着智能变电站的大力建设,合并单元的通信规约也趋于统一标准化,即采用IEC 61850-9标准。IEC 61850-9-1由于其数据帧格式固定,点对点或一对多点的单向通信方式等原因应用较少。IEC 61850-9-2除了支持直接映射到数据链路层的“SendMMSMessage”服务外,还支持向制造报文规范(MMS)的映射,可以重新配置输入通道数、采样频率等参数,支持对数据集的更改和对数据对象的直接访问,可灵活配置帧格式。IEC 61850-9-2则更适用于控制保护设备的接口,但该标准仅给出一个参考模型结构,没有解释数据集具体存储哪些数据以及如何存储这些数据,为了便于实现,IEC又发布了IEC 61850-9-2LE版本,其中对一些参数进行了固化,从一致性考虑,进一步定义了采样值的帧格式,其中规范了ASDU的使用,弥补了9-2上的说明不足,强化设备间的互操作性。IEC61850-9采样值报文在链路层传输都是基于ISO/IEC 8802-3的以太网帧结构。图5列举了IEC 61850-9-2LE的APDU帧结构。校验系统设计时兼容以上三种规约协议的设计,通过软件选择可灵活校验各种通信方式的电子式互感器。



图5 IEC61850-9-2LE的APDU帧结构

Fig.5 APDU frame structure of IEC61850-9-2LE

4 系统软件

4.1 系统界面设计

本校验系统使用LabVIEW2008软件设计,软件界面包括三个部分:校验前参数设置界面、系统校验结果界面和校验分析界面。

校验前参数设置界面主要完成系统校验前的参数设置,包括数字式/模拟式互感器选择、系统额定一次值/二次值、系统规约选择、系统校验通道和校验次数等。

系统校验结果界面主要完成将软件计算后的结果统计显示,如图6所示。该界面是整个系统的核心,在参数设置完成后,点击开始按键,系统按照配置的参数“一键式”完成整个检验检测,并能够显示标准源幅值百分比、系统频率,比差(最大值、最小值和平均值)、相位差(最大值、最小值和平均值)、每次比较的实时波形及系统检验目前执行的进度、每次比较的详细参数列表(比较次数、幅值百分比、比差、相位差和本次比较数据是否有效等)。

校验分析界面主要实现时域分析和频谱分析,针对校验结果不合格的互感器自动分析和显示两路信号的幅度谱,然后分析直流、2~20次谐波所占基波的百分比,同时计算总谐波畸变率。

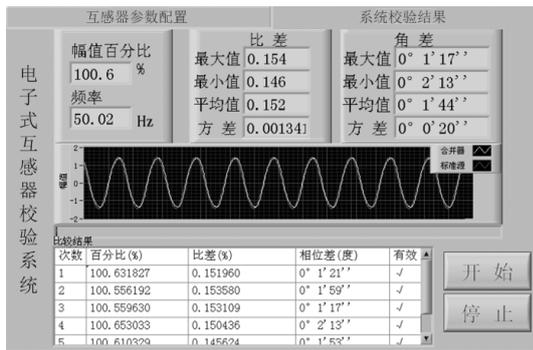


图 6 系统校验结果显示

Fig.6 Display interface of checking analysis

4.2 信号处理

(1) 数字滤波技术

校验系统基准源的输入信号除了含有基波分量, 还有高次谐波分量及白噪声。特别是基准源输入信号幅值较低情况下, 信噪比明显下降, 万用表读取到的信号明显含有干扰量^[7]。因此校验系统采用无限冲击响应 IIR 数字滤波器进行滤波处理, 不仅对高频信号, 白噪声等有很好的滤波效果, 而且保证对宽电压范围和宽电流范围的角差、相差校验精度。

(2) 基于汉宁窗插值的 FFT 改进算法

实际电网信号往往并不只有基频信号, 它还含有丰富的谐波分量, 而且谐波分量的幅值一般仅为基波分量幅值的百分之几或更小。当对电网信号进行非同步采样时, 基波分量的频谱泄漏将严重影响基频分量的频谱, 从而导致校验系统比差产生很大的误差。同时对谐波分量的频谱分析影响也很大, 若相邻谐波之间的幅值相差过大, 幅值大的谐波分量同样有可能淹没幅值小的谐波分量。采用恰当的开窗函数及插值算法可以提高 FFT 的计算精度。

5 系统试验

5.1 型式试验

为了检验测试系统的正确性, 在实验室做了如下试验。用美国 FLUKE 公司生产 5 700 A/5 720 A 多功能校准器作为标准信号源提供两路标准电压信号, 结合互感器校验系统对比差和角差进行测量, 测量结果表明校验系统能达到万分之五的精度, 可以校验 0.2 级精度等级的电子式互感器。

5.2 系统联调

(1) 电子式电流互感器的校验

根据图 1 校验系统的连接方法, 对 0.2 级精度等级的电子式电流互感器进行了校验。检定记录如

表 1 所示 (互感器类型: 电子式电流互感器; 检验通道: A 相; 测量电流额定变比: 300 A/1 A; 比较次数: 10 次; 互感器固有延时: 188 μ s)。测试表明, 该电子式电流互感器达到 0.2 级测量精度。

表 1 以 I_a 采样值为例 10 次试验结果Tab.1 Test results of I_a for 10 times

施加量	5% (I_n)		10% (I_n)		20% (I_n)	
	比差	角差	比差	角差	比差	角差
最大值	-0.288	6'24"	-0.167	1'27"	-0.143	1'44"
最小值	-0.306	4'41"	-0.182	1'02"	-0.155	0'42"
平均值	-0.297	5'20"	-0.176	1'11"	-0.151	1'21"
偏差	0.006	0'31"	0.005	0'10"	0.003	0'16"
施加量	50% (I_n)		80% (I_n)		100% (I_n)	
	比差	角差	比差	角差	比差	角差
最大值	-0.120	0'47"	-0.108	1'18"	-0.101	1'35"
最小值	-0.128	0'32"	-0.118	1'01"	-0.112	1'15"
平均值	-0.124	0'42"	-0.112	1'14"	-0.105	1'26"
偏差	0.003	0'5"	0.003	0'7"	0.003	0'6"

(2) 电子式电压互感器的校验

根据图 1 校验系统的连接方法 (电压互感器稍有不同), 对 0.2 级精度等级的电子式电压互感器进行了校验。检定记录如表 2 所示 (互感器类型: 电子式电压互感器; 检验通道: A 相; 测量电压额定变比: 10 kV/57.7 V; 比较次数: 10 次; 互感器固有延时: 255 μ s)。

表 2 以 V_a 采样值为例 10 次试验结果Tab.2 Test results of V_a for 10 times

施加量	70% (V_n)		80% (V_n)	
	比差	角差	比差	角差
最大值	0.150	6'21"	0.129	3'69"
最小值	0.130	4'66"	0.118	3'74"
平均值	0.141	5'21"	0.125	3'66"
偏差	0.004	0'25"	0.004	0'12"
施加量	100% (V_n)		110% (V_n)	
	比差	角差	比差	角差
最大值	0.075	0'45"	0.178	2'50"
最小值	0.064	0'31"	0.097	1'10"
平均值	0.068	0'37"	0.153	1'57"
偏差	0.004	0'3"	0.003	0'17"

6 结束语

本文介绍的电子式互感器的校验系统设计, 实现了对千分之二精度的电子式互感器按照 IEC 60044-7/8 要求的比差、角差进行校验, 校验精度高,

性能稳定可靠,能满足对电子式互感器的校验要求。

参考文献

[1] 郭志忠. 电子式互感器评述[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (15): 1-5.
GUO Zhi-zhong. Review of electronic instrument transformers[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (15): 1-5.

[2] 罗承沐, 张贵新, 王鹏. 电子式互感器及其技术发展现状[J]. 电力设备, 2007, 8 (1): 20-24.
LUO Cheng-mu, ZHANG Gui-xin, WANG Peng. Electronic type instrument transformer and its present technical development manner[J]. Electrical Equipment, 2007, 8 (1) : 20-24.

[3] 杨慧霞, 郭伟, 邓迎君. 几种电子式互感器校验方式的研究和比较[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(22): 99-101.
YANG Hui-xia, GUO Wei, DENG Ying-jun. Study and comparison on several different electronic transformer calibration methods[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (22): 99-101.

[4] 陈俊, 叶利, 申莉. 电子式互感器现场误差校准装置的研制[J]. 电测与仪表, 2009, 46 (526): 31-34.
CHEN Jun, YE Li, SHEN Li. Development of the field error calibrator equipment for electronic transformers[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2009, 46

(526): 31-34.

[5] 张蓬鹤, 何俊佳. 电子式互感器误差校验装置的研究[J]. 电测与仪表, 2009, 46(1): 57-60.
ZHANG Peng-he, HE Jun-jia. Research for electronic instrument transforms error calibration device[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2009, 46(1): 57-60.

[6] 李开成, 李振兴, 易杨. 电子式互感器校验系统的研究[J]. 电测与仪表, 2009, 46(527): 43-51.
LI Kai-cheng, LI Zhen-xing, YI Yang. Study on calibration system for electronic instrument transformers [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2009, 46(527): 43-51.

[7] Lyons R G. Understanding digital signal processing [M]. Second edition. Beijing: China Machine Press, 2006.

收稿日期: 2010-03-11; 修回日期: 2010-04-15

作者简介:

张明珠 (1976-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向为概率统计及计算机应用; E-mail: zmz_xctc@126.com

李开成 (1962-), 男, 教授, 博士生导师, 从事电子式互感器, 电能质量分析及电磁测量与仪器等方面的研究;

李振兴 (1977-), 男, 博士, 研究方向为电力系统继电保护与控制, 数字化变电站技术。

(上接第 90 页 continued from page 90)

[7] Blooming T M. Capacitor failure analysis: a troubleshooting case study[C].//Cement Industry Technical Conference. 2005: 345-356.

[8] 许跃进. 电容器组的容差分析与保护设计[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(12): 5-8.
XU Yue-jin. Capacitance error analysis of power capacitor group and protection design[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(12): 5-8.

[9] 杨宏. 集合式并联电容器内部故障保护的整定[J]. 电力电容器, 2006, 27 (3): 6-7, 15.
YANG Hong. Rounding off the internal fault protection of assembling shunt capacitor[J]. Power Capacitors, 2006, 27 (3): 6-7, 15.

[10] DL5014-92 330-500 kV 变电所无功补偿装置设计技术规定[S]. 北京: 中华人民共和国能源部, 1993.
DL5014-92 330-500 kV technical regulation for designing of reactive for 330-500 kV substations[S]. Beijing: Ministry of Energy, China. 1993.

[11] 程浩忠, 艾芊, 张志刚, 等. 电能质量[M]. 北京: 清华

大学出版社, 2006.
CHENG Hao-zhong, AI Qian, ZHANG Zhi-gang, et al. Electrical power systems quality[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.

[12] 邓雨荣. 无功补偿电容器合闸过电压及涌流的仿真计算[J]. 广西电力, 2006, 29 (6): 6-9.
DENG Yu-rong. Simulated calculation of overvoltage and surge current at switch-on of capacitor for reactive power compensation[J]. Guangxi Electric Power, 2006, 29 (6): 6-9.

收稿日期: 2010-03-08; 修回日期: 2010-04-24

作者简介:

马亮 (1971-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统运行与控制;

钱路江 (1961-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为电力系统运行、控制及数字仿真技术。E-mail: ljqian@whu.edu.cn