

互感器校验装置综述

宁伟红, 杨以涵, 李静, 张国庆, 于文斌

(华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206)

摘要: 互感器校验装置是用于检定电压互感器与电流互感器的专用设备, 随着现代工业的发展, 对互感器校验仪的要求也逐渐提升, 互感器校验仪也随之不断发展。主要介绍了互感器的校验方法; 概述了互感器校验仪从手动到自动, 高智能化的发展, 并根据其发展对互感器校验仪进行了分类, 简要分析了各种取差、测差电路以及相关产品, 指出互感器校验仪的最新发展方向。

关键词: 互感器; 校验仪; 比差; 相角误差; 虚拟仪器

Review on development of transformer calibration

NING Wei-hong, YANG Yi-han, LI Jing, ZHANG Guo-qing, YU Wen-bin

(Institute of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Transformer calibrator is the special verifying attachment for voltage and current transformers. With the development of modern industry, the demand for transformer calibrator becomes higher and higher, and so that calibrators have their development. This paper mainly introduces the methods of transformer's verification, summarizes many kinds of manual and automatic transformer calibrators and new microprocessor-based current transformer calibrator's generation circuit of signals and testing circuit by collecting lots of new information. By comparing these methods with each other, it concludes the best calibrator system based on the development platform of virtual instrument, which possesses multi-functions can speed up the development of novel transformer.

Key words: transformer; calibrator; ratio error; phase error; virtual instrument

中图分类号: TM45 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)10-0131-05

0 引言

互感器校验装置是用来对现场或者在实验室应用的电压和电流互感器进行技术性能的检定, 是互感器的主要测试仪器。

互感器性能的校验是电压/流互感器研制中的重点, 随着生产技术的发展, 一方面互感器的发展对互感器校验仪的发展提出各种新的要求, 另一方面新材料新技术促进了互感器校验仪的发展。

1 互感器校验仪的发展

早在上世纪50年代, 国内外互感器校验仪主要着重于手动互感器校验仪的发展。60年代初, 国内使用的互感器校验仪不是国外进口的就是仿制国外的, 而且这些校验仪都只能检定0.1级以下互感器。随着我国0.05级以上高准确度互感器的研制成功, 为适应检定高准确度互感器的校验仪的需要, 我国在六十年代末自行研制成功比较仪式校验仪^[1], 可以检定10级至0.01级电流互感器和电压互感器。

原来只能用于奥地利磁耦合式上的双级电流互感器也可在比较仪式校验仪上使用, 为双级电流互感器的发展提供了有利的条件。比较仪式校验仪由于结构简单, 性能良好, 很快在国内就得到了广泛的应用。

随着微电子技术和计算机的发展, 人们对相对法实用普及型互感器校验仪提出了更高的要求, 互感器校验仪从手动、单一功能向自动型甚至带有微处理器的智能型发展。多年来, 相继研制出多种互感器自动校验装置及智能装置。80年代, 国外开始出现各种应用电子线路和微机的自动互感器校验仪(简称数显校验仪)。90年代国内也研制成功了各种数显校验仪, 使互感器的检定走上了自动检测的道路, 并且开创了微机在互感器及其测试仪器上的应用。于是智能型互感器校验仪迅速发展, 应用越来越广, 并不断朝着高自动化, 高智能化, 高准确度, 小型化的方向发展。在一般互感器测试中, 现已有大量微机等高新技术制作的各种规格全自动互感器校验台, 对测试结果进行数据处理的校验技术也得

以广泛应用。利用 PC 虚拟仪器技术，在互感器校验装置中的应用不断增多，使得自动测试水平又上一台阶。

2 互感器校验仪的分类

互感器校验仪使用比较法测量被检互感器与标准互感器二次电压或电流比差与相角误差的仪器，测得的比差用二次电流、电压量的相对误差 (%) 表示，相角误差用 min 或 crad 表示。互感器校验仪从使用方法上可分为直接比较型和测差式两类^[2]。直接比较型只能比较两个额定参数相同的电流、电压量，间接比较型可以比较两个额定参数不同的电流、电压量。

早期的互感器校验仪主要设计成直接比较式的，由于仪器受电阻和电容元件准确度的限制，后来制成测差式的，使校验仪的线路和结构得到简化，性能得到提高。

直接比较式互感器校验仪，目前常用的只有磁势比较型与交流电桥型两种。测差式互感器校验仪，按其电路特点可分为电桥比较型、电位比较型、电流比较型、数字式和虚拟仪器等。

2.1 电位比较型互感器校验仪

2.1.1 基本测量电路

电位比较型互感器校验仪^[2]都是采用差值法原理进行取差，然后用直角坐标型交流电位差计的原理进行取差，其基本测量电路如图 1 所示，它是以工作电流 i_{2n} 为参考对向量电压 $\Delta\dot{U}$ 进行测量的一种电路。图中，T 为同相电流互感器，M 为正交电流互感器，F 为同相滑线盘电位器；D 为正交滑线盘电位器；F 与 D 的中间点 O 用导线短接起来，O 点的左侧可输出正极性电位，右侧可输出负极性电位。F 电位器上有一滑动触点 A，A 的滑动可以改变输出电压的大小与极性；D 电位器上有一滑动触点 B，它的滑动可以改变正交电位器上输出电压的大小与极性。T 与 M 的供电电流皆为 i_{2n} ，可用电流表 A 检测其大小。D 为交流指零仪。 $\Delta\dot{U}$ 表示代测量的相量电压。

当工作电流 I_{2n} 由标准电流互感器供电时，为了测量 $\Delta\dot{U}$ ，可调节 T 与 D 两个滑线盘电位器上的触点 A 与 B，直至交流指零仪 D 指在零位，则由两个电位器产生的输出电压之和将与被测电压 $\Delta\dot{U}$ 相等。故得平衡方程

$$\dot{U}_{AO} + \dot{U}_{BO} = \dot{U}_{AB} = \Delta\dot{U} \quad (1)$$

$$\dot{U}_{AB} = K_T I_{2n} r_{AO} + jK_M I_{2n} r_{BO} \quad (2)$$

式中： K_T 与 K_M 分别为互感器 T 与 M 的变换系数； r_{AO} 与 r_{BO} 分别为 F 与 D 电位器上的取样电阻。

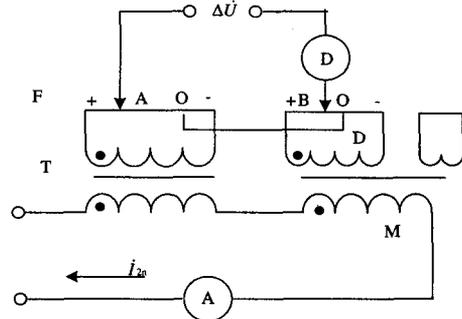


图 1 电位比较型基本测量电路

Fig.1 Basic measuring circuit of potential comparison

2.1.2 典型产品

电位比较型互感器校验仪在国内应用最广的产品是 HE5 型，它是仿国外 AHT 型互感器校验仪的基础上，加以局部改进后成为正式产品的。HE11 型互感器校验仪是电位比较型中的一种便携式产品。HE5、HE8 和 HE11 是目前我国基层单位应用较广泛的三种校验仪。

2.2 电流比较型互感器校验仪

2.2.1 基本测量电路

电流比较型互感器校验仪的基本测量回路是以工作电压为参考，对一个电流向量进行分部测量的电路，其原理电路如图 2 所示。图中， T_B 是一只辅助电压互感器，它有两组都是极性对称的电压输出，一组对称电压经单刀双掷开关 K_1 施加到同相测量回路，另一组对称电压经单刀双掷开关 K_2 施加到正交测量回路；T 为电流比较仪，其次级绕组接有交流指零仪 D，其初级绕组由三个支路供电：一个支路是从上述的同相电压经过可调电导箱 G 提供同相电流 i_G ，另一支路是从上述的正交电压经可调电容箱 C 提供的正交电流 i_C ，第三个分支是被测量的电流向量 Δi 从 K 端引入，D 为电流比较仪初级绕组的低电位端，准备在测量试验时接至相应的低电位。

\dot{U}_B 与待测电流 Δi 施加至测量回路时，上述三个电流 i_G ， i_C 与 Δi 都流进了电流比较仪的初级绕组，一般来说，它们的向量和是不为零的。可以交替地调节电导箱与电容箱的示值，并伴随调节 K_1 与 K_2 的极性，直至交流指零仪 D 指示于零位为止。

这时电流比较仪中的电流将达到平衡状态, 从而得平衡方程

$$\Delta \dot{I} + \dot{I}_G + \dot{I}_C = 0 \quad (3)$$

式中又有 $\dot{I}_G = \dot{U}_B K_F G$ (4)

$$\dot{I}_C = \dot{U}_B K_D j \omega C \quad (5)$$

式中: K_F 为互感器 T_B 同相输出电压的交换系数; K_D 为互感器 T_B 正交输出电压的交换系数。

将式 (4) 与式 (5) 代入式 (3) 得

$$\Delta \dot{I} = -\dot{U}_B K_F G - j \omega \dot{U}_B K_D C \quad (6)$$

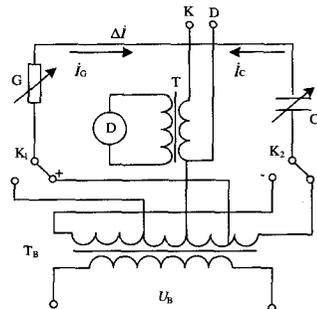


图 2 电流比较型基本测量电路

Fig.2 Basic measuring circuit of current comparison

2.2.2 典型产品

HEG2 型互感器校验仪是采用电流比较仪平衡原理进行测量的, 是电流比较型的典型产品。它与 HEB 型、HEG1 型、HEG3 型与 HEG4 型互感器校验仪相类似。HEG5 型互感器校验仪综合了 HEG2 型与 HEG4 型两者的优点, 扩大了工作范围。

2.3 数字式智能互感器校验仪

2.3.1 基本原理

目前, 我国使用较多的数字式互感器校验仪大多采用差值法原理进行取差, 通过数字逻辑电路对误差信号进行采样、运算处理, 然后将测试的标定点、比差、角差等参量用数字显示出来。常见的数字式互感器校验仪测量电路如图 3 所示^[3], 它的原理电路可以设计成多种类型, 但核心还是正交移相技术。

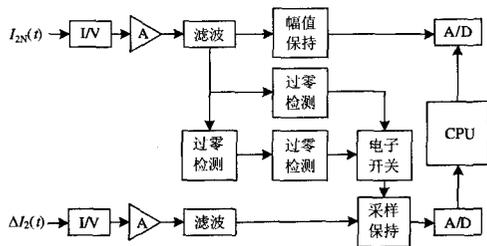


图 3 常见数字式互感器校验仪测量电路

Fig.3 Common measuring circuit of digital transformer calibrator

在如图的测量电路中,

$$\text{比差 } f = \Delta I \cos \alpha / I_s \times 100\%$$

$$\text{角差 } \delta = \Delta I \sin \alpha / I_s 3438'$$

式中: ΔI 为差值通道信号幅值, I_s 为标准通道信号幅值, α 为两个通道信号相位差。

2.3.2 主要发展

早期的数字式互感器校验仪, 是把先进的电子测量技术与电工测量技术相结合的测量仪器, 虽然未实现智能化, 但性能及功能均优于单纯电工型互感器校验仪。而将电子技术和微处理技术应用于互感器校验仪, 就产生了智能型互感器校验仪。数字式互感器校验仪不断的由简单数显型发展成高智能型校验仪。

电子式互感器校验仪^[3]按工作原理分为零值法和非零值法两类。其中非零值法的设计思路是将同相分量与标准电流作除法运算得出比差, 将正交分量与标准电流作除法运算求得角差, 不需进行平衡调节, 因而省去了交流指零仪, 而带之以数字式的误差显示。瑞士 Tettex 公司生产了 2761 型自动数显电流互感器校验仪, 2765 型自动数显电压互感器校验仪, 采用 Zinn 的微差支路法取差电路, 实现了自动连续测量, 直接读数显示, 高集成化和滤波技术有效抑制噪声和谐波干扰^[4]。国产 HES-1 型数字式互感器校验仪的工作原理与此类似。

自动平衡互感器校验仪^[5]是在电流比较型互感器校验仪的原理基础上, 以单板机为核心, 利用智能化技术代替手动操作控制互感器校验仪的平衡过程、自动校零与控制检定程序。根据测量仪器智能化的发展趋势, 1983 年美国借鉴 Zinn 和 Braun 方法首推微机化互感器自动比较仪^[6], 其取差电路为自动平衡电流互感器取差, 测差电路把 Zinn 的模拟乘法器检相闭环平衡式与 Braun 的电子矢量计结合起来, 在模拟计算机线路中完成全部测差功能。此线路的平衡式保证其精度, 可对不同变比互感器测试, 但线路复杂, 易于自激, 不能扩频。基于 Braun 法, 哈尔滨工业大学于 1986 年进行了微机化音频电流互感器自动校验仪的研制, 采用了自平衡电流比较仪做取差线路。

智能型比较仪式互感器校验仪^[7-10]也是在电流比较型互感器校验仪的原理基础上, 但以单片机为核心, 按一定软件功能与算法来实现自动检测、自动反馈、自动补偿与自动测量及显示的。

随着数字信号处理技术的发展, 基于 DSP 的智能型互感器校验仪^[11,12]的研究, 更是进一步地提高了校验仪的智能化程度, 使测试更加简单。

2.4 虚拟仪器校验仪

随着电力系统的容量和传输的电压等级进一步增大,目前,国内外电子式互感器的研制工作已向实用化阶段发展。而传统的电流互感器检测方法已不适用于新型电子式互感器,因此电子式互感器校验方法及其装置的研究一直是国内外研究热点。

目前常用的方法是数字校验方法,不涉及同相分量和正交分量的分解和组合。文献[13~17]介绍了各种利用数字校验方法进行校验的技术。在各种校验技术中利用虚拟仪器技术的比较突出。虚拟仪器是基于计算机技术的开放灵活的功能模块,用户可自定义接口,通过不同功能模块的组合可构成多种仪器,实现自动测量,能方便地实时显示测量波形能进行数据分析和处理。虚拟仪器校验仪不仅具有电子式互感器校验功能,还具备虚拟仪器的特征。

虚拟仪器校验仪^[18,19]与传统的校验仪相比主要有以下特点:(1)在结构上传统的数字式校验仪是由单片机和电子电路等硬件设备构成的,“虚拟电流互感器校验仪”是在PC机上实现的仪器,校验仪的各种功能主要通过安装在计算机上的程序(软件)来实现;(2)在功能上有很大差别,传统的校验仪只能显示比差和角差,而虚拟校验仪不仅可以显示比差和角差,而且还能自动出比差和角差曲线、数据自动存储、电流波形显示、给出在不同负载电流下的准确度等等,可以说原来需要由人工完成的数据分析和处理工作全部由计算机来完成,而且检测完成后直接给出准确度等级;(3)在操作上只须调整电流大小,虚拟校验仪就能自动记录检测数据,进行分析和计算。

3 总结

自从上世纪50年代末以来,随着生产的发展和市场需求,互感器校验仪有了很大的发展,并在不断创新中。本文介绍了互感器校验装置从手动、单一功能向自动型,简单数显型到带有微处理器的智能型的发展。按照互感器校验仪的发展,本文对其进行了分类和简略的分析。DSP技术和虚拟仪器技术作为新兴技术,正在不断的发展和走向成熟,随着新技术的发展和应用,互感器校验仪的性能将得到大的提高,校验装置将更加智能化、现代化、简便化。

参考文献

- [1] 赵修民. 互感器校验仪的原理和应用[M]. 太原: 山西人民出版社, 1982.
ZHAO Xiu-min. Theory & Application of Transformer Calibration[M]. Taiyuan: Shanxi People's Publishing House, 1982.
- [2] 刘庆余. 互感器校验仪的原理与整体检定[M]. 北京: 中国计量出版社, 2003.
LIU Qing-yu. Principles and Integral Certificate of Transformer Calibration[M]. Beijing: China Metrology Publishing House, 2003.
- [3] 刘庆余. 互感器校验仪的原理与检定[M]. 北京: 中国计量出版社, 1988.
LIU Qing-yu. Theory and Certification of Transformer Calibration[M]. Beijing: China Metrology Publishing House, 1988.
- [4] 张松波, 吴敏, 汪守斌. 互感器校验设备的发展[J]. 黑龙江水专学报, 1996, (1).
ZHANG Song-bo, WU Min, WANG Shou-bin. Development of Transformer Calibrator[J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 1996, (1).
- [5] 肖效民. HEZ-1型数显自平衡互感器校验仪[J]. 科技情报开发与经济, 2001, 11(6): 150-152.
XIAO Xiao-min. HEZ-1 Type Digital Display Self-Balancing Check Meter of Mutual Inductor[J]. SCI/TECH Information Development & Economy, 2001, 11(6): 150-152.
- [6] Imaoka A, Kihara M. Accurate Time/Frequency Transfer Method Using Bi-directional Transmission[A]. In: the 27th PTTI Applications and Planning Meeting[C]. 1995.
- [7] 徐新, 赵茂泰, 朱颀, 等. 新型智能化互感器校验仪的研究与实现[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1999, 24(1): 86-89.
XU Xin, ZHAO Mao-tai, ZHU Jie, et al. The Research and Realization of a New Intelligent Transformer Calibrator[J]. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 1999, 24(1): 86-89.
- [8] 项小东, 阮秉涛, 周南. 基于波形分析的数显式互感器校验仪[J]. 浙江工业大学学报; 2001, 29(4): 354-356.
XIANG Xiao-dong, RUAN Bing-tao, ZHOU Nan. Digital Instrument Transformer Tests Based on Wave Analysis[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2001, 29(4): 354-356.
- [9] 赵修民, 韩海洲, 夏建军, 等. 新型 HEWP 智能互感器校验仪的研制[J]. 仪表技术, 2001, (2): 50-52.
ZHAO Xiu-min, HAN Hai-zhou, XIA Jian-jun, et al. Researching of the New -type HEWP Intelligent Calibrator for Instrument Transformers[J]. Instrumentation Technology, 2001, (2): 50-52.
- [10] 刘威, 王进红. 多功能全自动互感器校验系统的设计[J]. 山西机械, 2003, (1): 41-43.

- LIU Wei, WANG Jin-hong. Design of the Automatic Multifunctional Checking System of Transformer[J]. Shanxi Machinery, 2003, (1): 41-43.
- [11] 刘江锋. 基于 DSP 的互感器校验仪设计及实现(硕士学位论文)[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2004.
- LIU Jiang-feng. Design and Implementation of Transformer Calibrator based on DSP, Thesis[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2004.
- [12] 周新征. 基于 DSP 互感器校验仪软硬件设计(硕士学位论文)[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2004.
- ZHOU Xin-zheng. The Design of Transformer Calibrator Based on DSP, Thesis[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2004.
- [13] Blake J. Fiber Optic Current Sensor Calibration[A]. In: Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001 IEEE/PES[C]. 2001.127-130.
- [14] 申焯, 梅志刚, 赵伟, 等. 一种新型电流互感器校验仪[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2003, 43(3): 314-317.
- SHEN Zhu, MEI Zhi-gang, ZHAO Wei, et al. Calibrator for Electronic Current Transformer[J]. J of Tsinghua Univ(Sci&Tech), 2003, 43(3): 314-317.
- [15] 徐雁, 陈金玲, 肖霞, 等. 光电电压互感器校验方法的研究[J]. 高电压技术, 2003, 29(2): 15-16.
- XU Yan, CHEN Jin-ling, XIAO Xia, et al. Study on Method of Accuracy Measurement Used for Optical-electric Transformer[J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(2): 15-16.
- [16] 钱政, 李童杰, 张翔. 电子式互感器校验方法的设计与实现[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(11): 1316-1319.
- QIAN Zheng, LI Tong-jie, ZHANG Xiang. Design and Realization of Calibration Method of Electronic Transformer[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2006, 32(11): 1316-1319.
- [17] Lapuh R, Svetik Z. Current Transformer Calibration Using Synchronous Sampling[A]. In: Conference Digest on Precision Electromagnetic Measurements[C]. 2002.548-549.
- [18] 梅志刚, 罗承沐, 等. 一种虚拟互感器校验仪的设计[J]. 变压器, 2006, 43(10): 25-28.
- MEI Zhi-gang, LUO Cheng-mu, et al. Design of Virtual Calibrator for Instrument Transformer[J]. Transformer, 2006, 43(10): 25-28.
- [19] 杨子强, 任锋, 艾欣. 基于虚拟仪器技术的电流互感器校验仪[J]. 电测与仪表, 2002, 39(444): 33-35.
- YANG Zi-qiang, REN Feng, AI Xin. Current Transformer Calibrator Based on Virtual Instrument Technology[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2002, 39(444): 33-35.
- [20] 赵修民, 赵屹涛. 测量用互感器及其测试仪器的发展和创制[J]. 中国工程科学, 2000, 2(3): 73-76.
- ZHAO Xiu-min, ZHAO Yi-tao. Development and Creations of Measuring Instrument Transformers and Their Testing Equipment[J]. Engineering Science, 2000, 2(3): 73-76.

收稿日期: 2008-06-27; 修回日期: 2008-10-06

作者简介:

宁伟红(1985-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析与控制; E-mail: ningweihong1985@163.com

杨以涵(1926-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统运行分析与控制、人工智能在电力系统中的应用等;

李静(1981-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析与控制。

(上接第 124 页 continued from page 124)

第八条、第九条、第十条、第十一条、第十二条等规定, 完善计量装置, 协助用户限制和治理谐波。

谐波治理后, 无论对供电部门或用户都将大大提高社会效益和经济效益。

参考文献

- [1] GB/T12325-2003, 电能质量 供电电压允许偏差[S].
- [2] GB15707-1995, 电能质量 电压波动和闪变[S].

[3] GB/T14549-1993, 电能质量 公用电网谐波[S].

[4] GB/T15543-1995, 电能质量 三相电压允许不平衡度[S].

[5] GB156-2003, 标准电压[S].

收稿日期: 2008-12-09; 修回日期: 2008-12-30

作者简介:

黄玉春(1971-), 女, 高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护. E-mail: Hnhuangyuchun@163.com