

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201605019



三相组合互感器误差校验中的 影响量分析

丁稳房¹, 金晓明¹, 陈铭明², 孙军³, 陈江洪³, 徐灿³

1. 湖北工业大学 电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430068;
2. 江苏省电力公司 电力科学研究院, 江苏 南京 210000;
3. 武汉磐电科技有限公司, 湖北 武汉 430058)

摘要: 用三相检定法对三相组合互感器进行误差校验试验, 研究高电压和大电流对电压互感器部分误差校验的影响. 结果表明: 三相检定法能够成功检测出三相三元件组合互感器中电压互感器与电流互感器彼此干扰造成的误差; 电压互感器与电流互感器误差校验时, 相互之间均会产生一定的影响, 且大电流对电压互感器的影响更大. 最后, 指出采用的标准电流互感器及升流变压器均应按高电压配备绝缘, 产品设计时应注意将电压互感器置于正确位置, 使其铁心柱轴向与经过其顶部的载流导体方向平行.

关键词: 三相组合互感器; 三相检定法; 相互干扰; 误差校验; 电压互感器; 电流互感器

中图分类号: TM 41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2016)05-0622-05

Analysis of Influence Quantity in Error Detection of Three-Phase Combined Transformer

DING Wenfang¹, JIN Xiaoming¹, CHEN Mingming²,
SUN Jun³, CHEN Jianghong³, XU Can³

1. College of Electrical and Electronic Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China;
2. Electric Power Research Institute, Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210000, China;
3. Wuhan Pandian Science and Technology Limited Company, Wuhan 430068, China)

Abstract: Three-phase method was used to detect the error of three-phase transformer, and the effect of high voltage and large current on part of the error detection of current transformer and voltage transformer is discussed. The result shows that the three-phase method can test the error caused by voltage transformer and current transformer in three-phase combined transformer successfully. While using voltage transformer and current transformer for error detection, there will occur some error due to the interruption. And it must be pointed out that the effect of large current on voltage transformer is more obvious than that of the high voltage on current transformer. At last, the standard current transformer and enlarge-current transformer used in experiments must be equipped with high voltage insulation unit. And the voltage sensor must be placed in accurate position during the product design process, furthermore the axis of iron stick is parallel with the conductor on the top.

Keywords: three-phase combined transformer; three phase detection method; mutual interference; error calibration; voltage transformer; current transformer

收稿日期: 2015-12-29

通信作者: 丁稳房(1966-), 男, 副教授, 要从事电力系统及自动化的研究. E-mail: wenfangding@163.com.

基金项目: 国家电网重点科技计划项目(5210EF140008)

近年来,随着互感器技术的发展,35 kV 及以下的三相组合互感器逐渐开始大量推广应用.它多用于大用户和专用变电站作业关口的电能计量及电网的电压监测,用以实现高电压、大电流到低电压、小电流的信号转变.三相三元件组合互感器由在电气功能上彼此独立的 3 台单相电压互感器和 3 台单相电流互感器组合而成,起着高电压隔离和比率变换的作用^[1-7].组合互感器将电流互感器和电压互感器组合在一个狭小空间内,且两者同时运行工作,各互感器单元间不可避免存在电磁影响.因此,要充分考虑三相组合互感器在实际运行中的电磁干扰问题,否则就有可能造成输电线路的部分组合互感器超差运行,致使电能计量不准确.为此,必须按照国家相关标准及行业规定准确检定三相组合互感器^[1-4].基于此,本文用三相检定法对三相组合互感器进行误差校验,通过试验研究高电压对电流互感器部分误差校验的影响,以及大电流对电压互感器部分误差校验的影响,并对试验结果进行了分析.

1 三相检定法的检定原理

采用三相法对三相组合互感器进行检定的原理框图,如图 1 所示.检定装置包括三相平衡的电压源和电流源部分、三相标准的电压和电流互感器、三相智能互感器校验仪、电流负荷箱、电压负荷箱及被试品部分.

1) 三相平衡电压源部分由三相调压器和三相升压器构成.为了实现三相电压平衡,在三相调压器输出端分别串联 3 台单相调压器.采用三相调压器调节三相电压,当某相电压达到测量点时,调节另两相输出端串联的单相调压器,使得三相电压一致.

2) 三相平衡电流源部分由三相调压器和三相升流器构成.为了实现三相电流平衡,在三相调压器输出端分别串联 3 台单相调压器.采用三相调压器调节三相电流,当某相电流达到测量点时,调节另两相输出端串联的单相调压器,使三相电流一致.

3) 三相标准电压互感器由 3 个单相标准电压互感器星形联接构成,三相标准电流互感器由 3 个单相标准电流互感器联接构成.由于标准电流互感器需要在高压下工作,因此,标准电流互感器的一次、二次绕组应满足相关绝缘要求,即为三相高压标准电流互感器.

4) 三相智能互感器校验仪可以同时采集 3 个电压互感器的差压信号和百分表信号,或 3 个电流互感器的差流信号和百分表信号,同时测量三相组合互感器三相电压或三相电流的误差^[8-10].

采用三相检定法在额定工况下对三相组合互感器进行误差智能测量时,同时,对三相组合互感器施加三相电压和三相电流,模拟现场实际运行状态,对其误差进行测量.对三相组合互感器中电流互感器误差测量时,在施加三相额定电压条件下,通过三相升流器升流来进行电流互感器的误差测量;对三相组合互感器中电压互感器误差测量时,在施加三相额定电流条件下,通过三相升压器升压来进行电压互感器的误差测量.三相三原件组合互感器接线图,如图 2 所示.

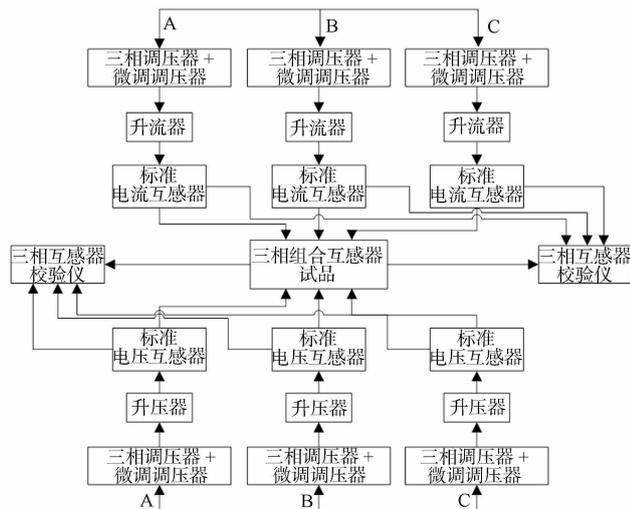


图 1 三相检定法原理框图

Fig. 1 Functional block diagram of three phase detection method

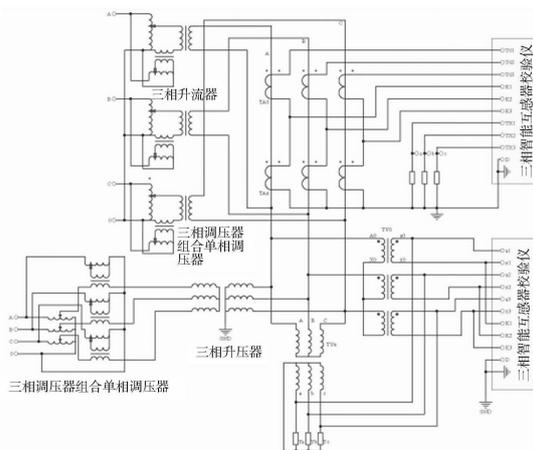


图 2 三相三原件组合互感器接线图

Fig. 2 Wiring diagram of three-phase and three-components combined transformer

2 误差校验中的相互干扰试验

选取一台 JLSJWS-10 型的三相三元件, 10 kV 组合互感器, 对其进行误差校验的相互干扰试验. 其中: 电压单元电压变比为 10 kV/100 V; 额定容量为 20 V·A; 准确度等级为 0.2 级; 电流单元电流变比为 600 A/5 A; 额定容量为 10 V·A; 准确度等级为 0.2 级.

2.1 电压互感器对电流互感器误差的影响

对三相组合互感器中电流互感器误差测量时, 当三相电压互感器不施加电压, 调节三相电流的输入, 在额定电流(I)的 5%, 20%, 100%, 120% 规程点下对三相电流互感器进行误差测量; 然后, 调节升压器输入端子的调压器, 使三相电压互感器工作在额定电压条件下, 调节三相电流的输入, 在额定电流的 5%, 20%, 100%, 120% 规程点下对三相电流互感器进行误差测量. 电压互感器对电流互感器影响的比差与角差数据, 如表 1 所示. 表 1 中: Z 为二次负荷, 10 V·A 为额定负荷值, 3.75 V·A 为下限负荷值; f 为比差, $f = \Delta I/I$; δ 表示角差, 即二次电流与一次电流之间的相位差; 3 个电流互感器的二次负荷功率因数均为 0.8.

表 1 电压互感器对电流互感器影响的误差数据

Tab. 1 Error measurement data of voltage transformer to current transformer

相位	$Z/V \cdot A$	参数	仅施加三相额定电流				施加三相额定电压和额定电流			
			5% I	20% I	100% I	120% I	5% I	20% I	100% I	120% I
A 相	10	$f/\%$	0.044 8	0.043 5	0.050 8	0.052 5	0.073 6	0.048 8	0.052 3	0.053 9
		$\delta/(')$	2.418	1.815	0.544	0.408	1.708	1.378	0.423	0.361
	3.75	$f/\%$	0.065 8	0.064 0	0.063 5	0.063 7	0.087 5	0.068 9	0.064 2	0.064 7
		$\delta/(')$	1.465	1.207	0.533	0.432	0.965	1.060	0.473	0.416
B 相	10	$f/\%$	0.045 8	0.045 1	0.051 7	0.053 0	0.019 1	0.037 8	0.050 4	0.050 7
		$\delta/(')$	2.224	1.607	0.461	0.369	1.735	1.411	0.547	0.612
	3.75	$f/\%$	0.065 6	0.064 5	0.064 3	0.064 6	0.041 8	0.058 1	0.062 9	0.063 7
		$\delta/(')$	1.393	1.163	0.447	0.379	0.999	1.052	0.443	0.409
C 相	10	$f/\%$	0.047 8	0.047 7	0.055 1	0.054 2	0.050 0	0.047 2	0.052 8	0.052 2
		$\delta/(')$	2.086	1.442	0.389	0.712	3.140	1.824	0.801	0.886
	3.75	$f/\%$	0.066 9	0.066 0	0.065 2	0.065 6	0.069 6	0.066 9	0.065 6	0.065 8
		$\delta/(')$	1.444	1.181	0.529	0.599	2.261	1.422	0.712	0.720

2.2 电流互感器对电压互感器误差的影响

对三相组合互感器中电压互感器误差测量时, 当三相电流互感器不施加电流, 调节三相电压的输入, 在额定电压(U)的 80%, 100%, 120% 规程点下对三相电压互感器进行误差测量; 然后, 调节升流器输入端子的调压器, 使三相电流互感器工作在额定电流条件下, 调节三相电压的输入, 在额定电压的 80%, 100%, 120% 规程点下对三相电压互感器进行误差测量. 电流互感器对电压互感器影响的比差与角差数据, 如表 2 所示. 表 2 中: Z 为二次负荷, 20 V·A 为额定负荷值, 2.5 V·A 为下限负荷值; f 为

表 2 电流互感器对电压互感器影响的误差数据

Tab. 2 Error measurement data of current transformer to voltage transformer

相位	$Z/V \cdot A$	参数	仅施加三相额定电压			施加三相额定电流和额定电压		
			80% U	100% U	120% U	80% U	100% U	120% U
A 相	20	$f/\%$	-0.008 1	-0.008 5	-0.009 2	-0.006 6	-0.008 8	-0.007 6
		$\delta/(')$	6.10	6.05	6.13	6.11	6.11	6.12
	2.5	$f/\%$	0.009 2	0.007 2	0.006 8	0.012 7	0.007 8	0.007 0
		$\delta/(')$	5.89	5.90	5.91	5.72	5.72	5.72
B 相	20	$f/\%$	0.000 9	0.001 5	0.001 8	-0.001 2	-0.002 6	-0.003 0
		$\delta/(')$	7.17	7.15	7.16	7.17	7.1	7.08
	2.5	$f/\%$	0.004 3	0.003 5	0.003 2	-0.001 1	0.001 1	0.001 5
		$\delta/(')$	8.02	7.95	7.93	7.96	7.85	7.8

续表
Continue table

相位	Z/ V·A	参数	仅施加三相额定电压			施加三相额定电流和额定电压		
			80%U	100%U	120%U	80%U	100%U	120%U
C 相	20	f/%	0.071 9	0.070 0	0.070 5	0.074 4	0.071 3	0.072 0
		δ/(′)	6.12	6.13	6.15	6.08	6.07	6.03
	2.5	f/%	0.052 3	0.051 8	0.051 9	0.0531	0.055 6	0.056 0
		δ/(′)	5.95	6.01	5.98	5.95	6.00	6.03

比差, $f = \Delta U/U$; δ 表示角差, 即二次电压与一次电压之间的相位差的相位差; 3 个电压互感器的二次负荷功率因数均为 0.8.

3 误差校验中的影响量分析

3.1 电压互感器对电流互感器的影响量分析

对比以上误差测量结果, 对三相组合互感器同时施加三相额定电压和三相电流, 与未施加电压时电流互感器误差测量值对比, 结果如表 3 所示(结果以绝对值表示).

表 3 电压互感器对电流互感器误差测量的影响量分析

Tab. 3 Analysis of influence quantity of current transformer to voltage transformer

相位	Z/V·A	参数	5%I	20%I	100%I	120%I
A 相	10	$ \Delta f /\%$	0.028 8	0.005 3	0.001 5	0.001 4
		$ \Delta \delta /(′)$	0.710	0.437	0.121	0.047
	3.75	$ \Delta f /\%$	0.021 7	0.004 9	0.000 7	0.001 0
		$ \Delta \delta /(′)$	0.500	0.147	0.060	0.016
B 相	10	$ \Delta f /\%$	0.026 7	0.007 3	0.001 3	0.023 0
		$ \Delta \delta /(′)$	0.489	0.196	0.086	0.243
	3.75	$ \Delta f /\%$	0.023 8	0.006 4	0.001 4	0.000 9
		$ \Delta \delta /(′)$	0.394	0.111	0.004	0.030
C 相	10	$ \Delta f /\%$	0.002 2	0.000 5	0.002 3	0.002 0
		$ \Delta \delta /(′)$	1.054	0.382	0.412	0.174
	3.75	$ \Delta f /\%$	0.002 7	0.000 9	0.000 4	0.000 2
		$ \Delta \delta /(′)$	0.817	0.241	0.183	0.121

在对三相三元件组合互感器中电流互感器误差测量时, 被试设备通入三相额定电压与未通入三相额定电压时, 在 5% 误差测量点比差及角差差别均较大, 其他误差测量点比差数据差别不明显, 但角差数据差别较大.

通常测量电流互感器的误差, 只需能产生合适电流的低电压即可. 如将高电压施加于电流互感器一次绕组, 由此电压引起的从一次绕组到二次绕组的电容电流, 一部分流过与二次绕组相连的仪器仪表, 另一部分直接流至二次绕组的接地端, 因而其误差会产生变化. 即使二次绕组有屏蔽, 流过一次绕组的电容电流也将使二次绕组产生感应电流. 特别是在 5% 的额定电流下, 感应电流产生的误差可能还要大. 如果在施加高压的同时测量电流互感器的误差, 则试验所采用的标准电流互感器及产生大电流的升流变压器均应按高电压配备绝缘^[11].

3.2 电流互感器对电压互感器的影响量分析

对比以上误差测量结果, 对三相组合互感器同时施加三相额定电流和三相电压, 其与未施加电流时电压互感器误差测量值对比, 其相互影响结果如表 4 所示(结果以绝对值表示).

针对被试品, 在对三相三元件组合互感器中电压互感器误差测量时, 被试设备通入三相额定工作电流与未通入三相额定工作电流时作对比, 误差测量数据差别不大.

对电压互感器而言, 电压互感器附近载流导体所产生的磁场可能影响其误差. 当电流互感器一次载流导体与电压互感器铁心柱轴向呈 90° 夹角的水平布置, 且环绕导体的磁通通过铁心柱穿过开路绕组时, 对误差的影响最大, 这种影响对相位差尤为严重. 因为载流导体产生的磁通在电压互感器中产生的

感应电压矢量对一次电压而言有 90° 的相位移^[12]. 而当载流导体与电压互感器铁心柱平行时,对误差的影响最小,可以忽略. 这对三相组合互感器很重要,产品设计时应注意将电压互感器置于正确位置,即使其铁心柱轴向与经过其顶部的载流导体方向平行.

4 结论

试验结果表明:三相组合互感器中,电压互感器与电流互感器误差校验时,相互之间均会产生一定的影响,其中,大电流对电压互感器的影响更大. 三相检定法能够成功检测出三相

三元件组合互感器中电压互感器间、电流互感器间彼此干扰造成的误差,因此,可以对三相三元件组合互感器完成校验,并且可以更好地体现出三相三元件组合互感器运作时的特性,在整体上指出三相三元件组合互感器在现实运作时会发生的问题.

另外,提出了试验所采用的标准电流互感器及产生大电流的升流变压器均应按高电压配备绝缘,以及产品设计时应注意将电压互感器置于正确位置,即使其铁心柱轴向与经过其顶部的载流导体方向平行,既有利于高压试验工作的安全,并对产品的设计提出了合理建议.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 三相组合互感器: JB/T10432-2004[S]. 北京:机械工业出版社, 2004:7-20.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 三相电压互感器: JB/T10433-2004[S]. 北京:机械工业出版社, 2004:6-17.
- [3] 国家能源局. 三相组合互感器使用技术规范: DL/T 1286-2013[S]. 北京:中国电力出版社, 2013:4-8.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 组合互感器: GB 17201-2007[S]. 北京:中国标准出版社, 2007:5-14.
- [5] 吴安岚. 电能计量基础及新技术[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2008:17-26.
- [6] 张有顺,冯井岗. 电能计量基础[M]. 北京:中国计量出版社, 1996:15-21.
- [7] 刘鹏,蒋映霞. 三相组合互感器两种检定方法的比较研究[J]. 四川电力技术, 2010, 33(1):79-81.
- [8] 蒋卫,杨华云,江波. 高压三相组合互感器三相检定方法及其实现研究[J]. 电测与仪表, 2011, 48(7):46-49.
- [9] 张能,廖慧敏,吴永云,等. 三相组合互感器检定装置研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2012(4):41-43.
- [10] 卢小芬,周有庆,彭春燕,等. 一种微机保护电流传感器的设计及性能分析[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2011, 23(3):276-279.
- [11] BRANDOLINI A, FAIFER M, OTTOBONI R. A simple method for the calibration of traditional and electronic measurement current and voltage transformers[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2011, 58(5):1345-1353.
- [12] BERTOLOTTI P, FAIFER M, OTTOBONI R. High voltage multi-purpose current and voltage electronic transformer[C]//IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceeding. Warsaw: [s. n.], 2007:1-5.

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 吴逢铁)