

# 自升压标准电压互感器的误差测量方法

蒋映霞<sup>1</sup> 吴德永<sup>1</sup> 孙 军<sup>2</sup> 徐 灿<sup>2</sup>

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院 四川 成都 610072;

2. 武汉磐电科技有限公司 湖北 武汉 430058)

**摘要:**随着自升压标准电压互感器的广泛使用,部分自升压标准电压互感器也暴露了设备自身存在的问题。在对自升压标准电压互感器进行误差测量或用其作为测量标准对被试互感器进行误差校验时,容易出现误差超差的现象。分析了这种现象,并通过试验证明产生的原因是升压器一次电流产生的磁场影响到了标准电压互感器的自身误差。为提高自升压标准电压互感器误差校验工作的准确性,结合当前自升压标准电压互感器的设计原理和误差校验方法,提出了一种适合于自升压标准电压互感器误差测量的合理方法。

**关键词:**自升压;标准电压互感器;升压器;误差测量

**Abstract:** With the wide application of self - boosting standard voltage transformer , a part of self - boosting standard voltage transformers has exposed their own problems. In the error measurement of self - boosting standard voltage transformer or the error calibration of the tested instrument as a measurement standard , the excessive error may occur easily. This phenomenon is analyzed , and it is proved by the tests that the cause is the magnetic field generated by primary current of booster which affects the error of standard voltage transformer. In order to improve the accuracy of error calibration for self - boosting standard voltage transformer , a new method for error measurement is proposed based on the current design principle and error measurement method of self - boosting standard voltage transformer.

**Key words:** self - boosting; standard voltage transformer; booster; error measurement

中图分类号: TM451 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2015)06 - 0076 - 04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.06.018

## 0 前言

自升压标准电压互感器是把升压电源和标准电压互感器合二为一,集成为一个整体的特殊标准电压互感器,减少了误差测量时的设备使用数量和接线数量,便于运输携带和现场操作。鉴于以上优点,自升压标准电压互感器被越来越多的使用于电压互感器的校准/测量中。目前,50 kV 及其以下的电压互感器的误差校准/测量,基本上都采用自升压标准电压互感器作为校准/测量用标准,使用量很大。随着自升压标准电压互感器的广泛使用,部分自升压标准电压互感器也暴露了设备自身存在的问题。下面详细描述了传统自升压标准电压互感器存在的问题,分析了问题产生的原因,并提出了一种适合于自升压标准电压互感器误差测量的合理方法。

## 1 自升压标准电压互感器易误差超差现象

在实验室对自升压标准电压互感器按照 JJG 314 - 2010 《测量用电压互感器》进行误差测量或在现场用自升压标准电压互感器作为测量标准对被试互感器按照 JJG 1021 - 2007 《电力互感器》进行误差测量时,容易出现误差超差现象。从实验室对自升压标准电压互感器的测量数据来看,表现为以下两种情况:

1) 使用自升压标准电压互感器作为标准器时,将其升压器用做测量系统的升压电源,经常会碰到被试电压互感器的误差数据超差的情况,但是如果改用实验室本身的升压电源,只选取自升压标准电压互感器的标准器部分用作系统标准,此时被试电压互感器的误差数据又能合格;

2) 使用自升压标准电压互感器作为被试互感

器,用自升压标准电压互感器的升压器作为系统电源,采用单极的标准电压互感器作为标准器时,被试的自升压标准电压互感器数据合格,但是改用双极的标准电压互感器(双极标准电压互感器负荷大于单级标准电压互感器)作为标准器时,被试的自升压标准电压互感的误差超差。

综合上述两种情况,认为是自升压标准电压互感中升压器所带的负荷不同,自升压标准电压互感的标准电压互感器误差测试数据就不相同,现通过理论和试验验证。

## 2 自升压标准电压互感器误差变化的原因分析

自升压标准电压互感器在工作时,升压器一次侧产生一次电流  $I_0$ ,  $I_0$  跟随一次侧所带负荷的大小和性质的改变而改变。 $I_0$  产生的磁通密度  $B$  可由毕奥-萨伐尔定律给出

$$B = \frac{\mu}{4\pi} \oint_l \frac{Idl \times r^0}{r^2} \quad (1)$$

式中: $l$  为电流  $I$  的路径; $r^0$  为自电流元指向观察点的单位矢量; $r$  为二者之间的距离; $\mu$  为磁导率。

闭合载流导体上的电流产生的磁通与电流成正比。因为自升压标准电压互感器的结构设计原因,其中的升压器与标准电压互感器集成一体,距离很小,升压器一次电流  $I_0$  产生的磁通有部分流入了标准电压互感器的铁心。磁通流经标准电压互感器铁心后产生了感应电动势,由法拉第电磁感应定律感应电动势可知

$$E = 4.44fNBS \quad (2)$$

$B \propto E$ , 标准电压互感器的误差表达式为

$$f = \frac{kU_2 - U_1}{U_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中: $f$  为标准电压互感器误差; $U_1$  为标准电压互感器一次电压,由升压器直接提供; $k$  为标准电压互感器的匝数比; $U_2$  为标准电压互感器的二次电压,由标准电压互感器中铁心的电磁感应产生。自升压标准电压互感器的磁通由升压器一次电流  $I_0$  产生的磁通与标准电压互感器自身产生的电压叠加形成,所以自升压标准电压互感器的误差受升压器一次电流影响。 $I_0$  跟随一次侧所带负荷的大小和性质的改变而改变,所以升压器一次侧所接的负载大小和性

质影响自升压标准的电压互感器的误差数值。当升压器一次电流产生的磁场的方向与标准电压互感器本身产生的磁场方向一致时,随着升压器一次电流增大,自升压标准电压互感器的误差正向偏离;当升压器一次电流产生的磁场方向与标准电压互感器本身产生的磁场方向相反时,随着升压器一次电流增大,自升压标准电压互感器的误差负向偏离。

## 3 自升压标准电压互感器误差变化原因的试验验证

选取一台准确度等级为 0.005 级的 35 kV 单级标准电压互感器作为标准器,其与互感器校验仪的参数如表 1 所示。选取一台准确度等级为 0.02 级的 35 kV 自升压标准电压互感器作为被试品,型号为 HJ-S35G2,其升压器用作误差试验的升压电源,试验原理如图 1 所示,采用高端测差法,在升压器带不同负荷条件下对被试品进行误差测量,得到表 2 和表 3 的误差数据。

表 1 试验用标准电压互感器及互感器校验仪参数

设备名称	设备型号 / 出厂编号	准确度等级	证书编号	有效期
精密电压互感器	HJ-S35G05 / P100041	0.005 级	(计)字第 201311436 号	2015 年 12 月 25 日
互感器校验仪	HGQ-PD / P10006	2 级	(计)字第 201411219 号	2015 年 12 月 01 日

本次试验使用的自升压标准电压互感器 HJ-S35G2 中升压器的最大承载负荷为 600 VA。

$$P = \omega CU^2 \quad (4)$$

经计算升压器最可承受大电容量为 1 083 pF 的容性负荷。

$$P = \frac{U^2}{\omega L} \quad (5)$$

经计算升压器可承受最小电感量为 9 363 H 的感性负荷。

在升压器一次侧不外接负荷情况下测量 HJ-S35G2 误差,再在升压器一次侧分别接入  $C_1 = 250$  pF、 $C_2 = 500$  pF、 $C_3 = 1 000$  pF 3 种不同电容量的容性负荷进行 3 组误差试验。误差数据如表 2 所示。

$$I_c = \omega CU \quad (6)$$

$$I_l = \frac{U}{\omega L} \quad (7)$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (8)$$

表2 升压器一次侧外接容性负载时被试标准电压互感器误差数据

外接容性负载 (标称值)	误差及 电容电流	20%	50%	80%	100%	120%
$C_0 = 0$ pF	$f/\%$	+0.000 4	+0.003 8	+0.005 5	+0.006 1	+0.005 8
	$\delta/(\prime)$	+0.304	+0.143	+0.078	+0.051	+0.056
$C_1 = 250$ pF	$f/\%$	+0.001 7	+0.007 5	+0.009 0	+0.009 2	+0.009 4
	$\delta/(\prime)$	+0.283	+0.149	+0.086	+0.072	+0.056
	$I_c/\text{mA}$	0.53	1.32	2.13	2.65	3.17
$C_2 = 500$ pF	$f/\%$	+0.007 6	+0.010 9	+0.012 6	+0.012 9	+0.012 6
	$\delta/(\prime)$	+0.300	+0.146	+0.082	+0.054	+0.060
	$I_c/\text{mA}$	1.13	2.82	4.49	5.64	6.75
$C_3 = 1\ 000$ pF	$f/\%$	+0.013 5	+0.016 9	+0.018 5	+0.019 0	+0.018 8
	$\delta/(\prime)$	+0.297	+0.143	+0.080	+0.054	+0.060
	$I_c/\text{mA}$	2.18	5.61	8.77	10.96	13.07

表3 升压器一次侧外接感性负载时被试标准电压互感器误差数据

外接感性负载 (标称值)	误差及 电感电流	20%	50%	80%	100%	120%
$L_0 = 0$ H	$f/\%$	+0.000 4	+0.003 8	+0.005 5	+0.006 1	+0.005 8
	$\delta/(\prime)$	+0.304	+0.143	+0.078	+0.051	+0.056
	$f/\%$	-0.001 9	+0.001 5	+0.003 2	+0.003 8	+0.003 7
$L_1 = 40\ 600$ H	$\delta/(\prime)$	+0.292	+0.132	+0.067	+0.040	+0.029
	$I_l/\text{mA}$	0.58	1.41	2.23	2.81	3.36
	$f/\%$	-0.005 4	-0.001 9	-0.000 3	+0.000 1	+0.000 1
$L_2 = 20\ 300$ H	$\delta/(\prime)$	+0.285	+0.125	+0.060	+0.032	+0.019
	$I_l/\text{mA}$	1.11	2.75	4.35	5.44	6.61
	$f/\%$	-0.011 9	-0.008 4	-0.007 1	-0.007 0	-0.007 3
$L_3 = 10\ 150$ H	$\delta/(\prime)$	+0.276	+0.119	+0.050	+0.020	+0.003
	$I_l/\text{mA}$	2.23	5.61	9.10	11.14	13.43

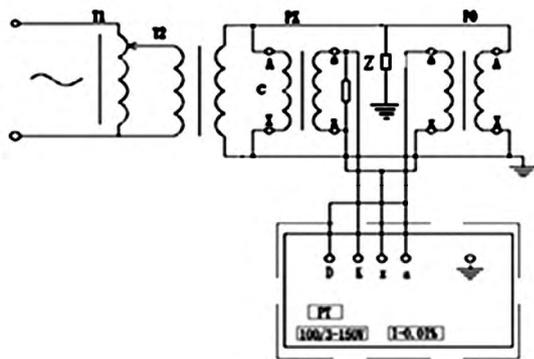


图1 电压互感器误差测量接线图

由  $I_l$ 、 $I_c$  表达式可知,当外接的电容和外接的电感两端电压相同时,如需流经电容的电流  $I_c$  与流经

电感的电流  $I_l$  大小相同,则需满足式(8)要求, $C_1 = 250$  pF 对应  $L_1 = 40\ 600$  H, $C_2 = 500$  pF 对应  $L_2 = 20\ 300$  H, $C_3 = 1\ 000$  pF 对应  $L_3 = 10\ 150$  H。在升压器一次侧接入  $L_1 = 40\ 600$  H、 $L_2 = 20\ 300$  H、 $L_3 = 10\ 150$  H 3 种不同电感量的感性负荷进行 3 组误差试验。误差数据如表 3 所示。

对 100%  $U_0$  误差测量点比差数据进行比较,可知在试验回路中当升压器一次侧不外接负载时互感器校验仪读取的被试电压互感器的比差数据  $U_1 = 0.006\ 1\%$ ,当升压器一次侧分别接入  $C_1 = 250$  pF、 $C_2 = 500$  pF、 $C_3 = 1\ 000$  pF 3 组不同容性负荷时,互感器校验仪读取的被试电压互感器的比差数据  $U_2$

$= 0.009\%$   $U_3 = 0.0129\%$   $U_4 = 0.0190\%$   $U_1$  与  $U_2$  之间差值  $\Delta U_1 = 0.0031\%$   $U_2$  与  $U_3$  之间差值  $\Delta U_2 = 0.0037\%$   $U_3$  与  $U_4$  之间的差值  $\Delta U_3 = 0.0061\%$  ,可见  $\Delta U_1$ 、 $\Delta U_2$ 、 $\frac{1}{2}\Delta U_3$  之间的差值基本相等 ,所以被试标准电压互感器比差值随着升压器一次侧接入的容性负荷的线性增加而线性增长。当升压器一次侧分别接入  $L_1 = 40\ 600\ \text{H}$ 、 $L_2 = 20\ 300\ \text{H}$ 、 $L_3 = 10\ 150\ \text{H}$  3 组不同感性负荷时 ,互感器校验仪读取的被试电压互感器的比差数据  $U_4 = 0.0032\%$ 、 $U_5 = -0.0003\%$ 、 $U_6 = -0.0071\%$  , $U_1$  与  $U_4$  之间的差值  $\Delta U_4 = 0.0029\%$  , $U_4$  与  $U_5$  之间的差值  $\Delta U_5 = 0.0035\%$  , $U_5$  与  $U_6$  之间的差值  $\Delta U_6 = 0.0068\%$  , $\Delta U_4$ 、 $\Delta U_5$ 、 $\frac{1}{2}\Delta U_6$  之间的差值基本相等 ,所以被试标准电压互感器比差值随着升压器一次侧接入的感性负荷的线性增加而线性减小。从以上数据还可看出  $\Delta U_1$ 、 $\Delta U_2$ 、 $\frac{1}{2}\Delta U_3$ 、 $\Delta U_4$ 、 $\Delta U_5$ 、 $\frac{1}{2}\Delta U_6$  基本相等 ,所以升压一次侧的接入相同容量不同负荷性质对标准电压互感器的误差影响数值基本一样 ,方向相反。

#### 4 自升压标准电压互感器误差测量新方法

通过以上理论分析和试验验证 ,说明在对自升压标准电压互感器进行测量或用其作为测量标准时 ,由于自升压标准电压互感器一次电流产生的磁场影响其标准电压互感器的误差 ,容易出现误差超差现象。而传统的对自升压标准电压互感器的测量方法是将自升压标准电压互感器当做被试电压互感器 ,其升压器一次基本没有电流 ,所以反映的是自升压标准电压互感器升压器没有一次电流产生的磁场对标准的影响时的误差数据。而当自升压标准电压互感器作为标准器使用时 ,其升压器带有被试电压互感器一次电流和测量系统一次回路产生的其他电流 ,影响标准电压互感器的误差数据。该电流的大小一方面取决于测量系统一次回路的电流大小 ,但又不能超过升压器本身的负荷能力。因此使用传统方法对自升压标准电压互感器进行误差测量的判定结果没有充分考虑到升压器对标准器的影响 ,在具体使用中不一定准确可靠。

鉴于上述情况 ,提出另一种自升压标准电压互感器误差测量方法 ,即在对自升压标准电压互

感器进行误差测量时 ,需要在升压器不带负荷和带额定负荷的情况下分别进行测量 ,其负荷性质可以是感性的 ,也可以是容性的。使用这种测量方法进行误差测量被判定合格的自升压标准电压互感器在用作标准器时 ,对于不同负荷的被检电压互感器 ,只要它给升压器所带来的负荷不大于升压器的额定负荷 ,标准电压互感器的本身误差变化在误差限值范围内 ,这样就可以保证校准/测量的准确性。

通过上述试验论证 ,在自升压标准电压互感器误差测量中接入负载 ,负载的大小影响被试自升压标准电压互感器中标准电压互感器的误差变化的数值 ,接入的负载性质影响误差变化的方向。由于实际对电压互感器的测量回路中 ,一次对地都是容性的 ,所以推荐在对自升压标准电压互感器进行误差测量时使用容性负荷进行试验。

#### 5 结 语

分析了目前自升压标准电压互感器存在的问题 ,通过理论和试验论证分析了原因 ,并提出了一种自升压标准电压互感器误差测量的合理方法 ,即在对自升压标准电压互感器进行误差测量时不仅需要在升压器不带负载的情况下测量 ,还需要在升压器带额定容性负载情况下测量 ,才能保证自升压标准电压互感器在实际使用过程中的数据准确性。

#### 参考文献

- [1] JJG 1021 - 2007 电力互感器[S].
- [2] JJG 314 - 2010 测量用电压互感器[S].
- [3] 张仁豫,陈昌渔,王昌长. 高电压试验技术[M]. 北京:清华大学出版社,2009.
- [4] 周克定,张文灿. 电工理论基础[M]. 北京:高等教育出版社,1994.
- [5] 赵修明. 带升压器的电压比例标准[J]. 仪表技术,1993(2):3-8.

作者简介:

蒋映霞(1974),高级工程师,长期从事互感器和数字电能计量的试验研究工作;

孙 军(1976),全国电工仪器仪表标准化技术委员会委员,长期从事互感器设计、校验和调试技术的研究工作;

徐 灿(1993),主要从事互感器校验和调试技术的研究工作。

(收稿日期:2015-10-09)