

# 计量用电流互感器测试与评价

王兰芳

武汉市华英电力科技有限公司

## 1 概述

计量用电流互感器是安装在电力系统中用于将高压一次回路的大电流转换成低压二次回路小电流的电流变换设备，其主要作用是为二次回路的计量仪表（如电流表，功率表）提供测量信号，因此其电流变换的准确程度至关重要，电流变换的准确程度可从电流比差和相角差两个方面进行描述。

目前我国电力系统对计量用互感器的维护和检测工作一般归电力公司的计量部门管理，在对计量用互感器进行检测时，通常都采用大电流源同时注入被检测互感器和标准互感器，并且被检测互感器和标准互感器二次侧都连接标准负荷，然后将标准互感器输出与被检测互感器的输出进行对比，从而获得被检测互感器的比差与角差。这种方法可以精确的获得被检测互感器的误差数据，但是现场试验时所需的设备非常多，包括大电流源，标准电流互感器，负载箱和互感器校验仪等，并且当被检测互感器额定一次电流非常高时，所需要的仪电流源容量将会非常高，此时所使用的标准设备会非常重，使现场的检测非常不方便。

本文从计量用电流互感器的工作原理，国家标准的误差规定，电压法测量电流互感器误差原理等方面对计量用电流互感器相关知识进行了详细介绍，并阐述计量用电流互感器的测试方法和所使用的仪器选择。

## 2 计量用电流互感器工作原理

### 2.1 电磁式电流互感器工作原理

我国标准体系与 IEC 标准体系基本一致，电力系统中的绝大部分标准和 IEC 标准中对应的标准号都是等效的，IEC60044-1 是 IEC 标准中对电磁式电流互感器的约束与要求，对应我们国家的标准 GB1208，在 IEC60044-1 中定义的计量用电流互感器准确等级有 0.1，0.2, 0.2S, 0.5, 0.5S, 1, 3 和 5 八种，在我们国家电力系统中安装的计量用电流互感器中，最常见的准确等级是 0.2, 0.2S 和 0.5。

计量用电流互感器和保护用电流互感器的原理是完全一样的，其区别在于保护用电流互感器强调的性能是其承受短路电流的能力，而计量用电流互感器强调的性能是其电流传递的误差大小。所有电磁式电流互感器的结构都如图 1 所示，二次线圈和一次线圈都绕在同一个闭合的铁芯上，一次一般为 1 匝或数匝，一次的匝数远小于二次的匝数，其匝数比一般情况下都等于其电流之比。

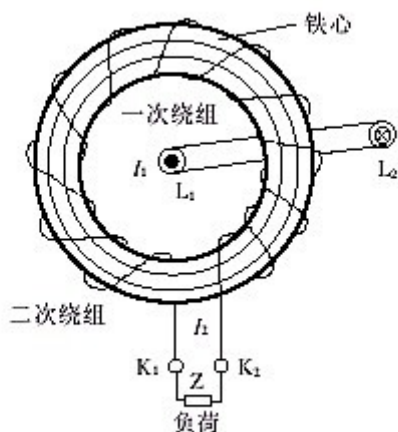


图 1 电流互感器的原理图

## 2.2 电磁式电流互感器误差产生原因与测量方法

对于电磁式电流互感器，造成其二次电流  $I_s$  产生误差的主要原因是铁芯励磁损耗电流的存在，铁芯励磁损耗主要由铁损和磁滞损耗构成。决定电流互感器损耗的主要因素包括铁芯磁感应强度  $B$  和磁感应强度的频率  $f$ ，而它们所对应的就是电流互感器二次线圈的电动势  $V_{ex}$ ，当励磁电动势  $V_{ex}$  的数值和频率确定以后就可以确定互感器的励磁损耗电流  $I_f$ 。

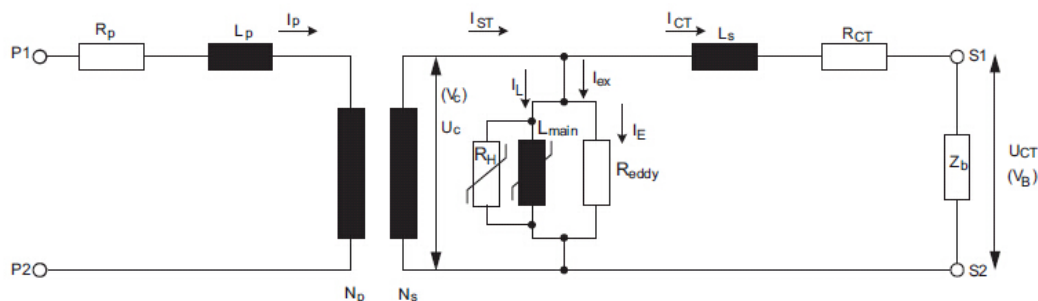


图 2 电流互感器等效原理图

电磁式电流互感器的等效原理图如图 2 所示，由图可见造成电流互感器比差与角差的主要原因是励磁损耗电流  $I_{ex}$  和匝数比  $N_p/N_s$  的误差，因此对于 5%，20%，100% 和 120% 额定二次电流输出时，如果知道  $I_{ex}$  的幅值与相位，以及真实的匝数比  $N_p/N_s$ ，就可以计算出此时电流互感器的比差与角差，HYVA-405 CTPT 分析仪通过实测匝数比  $N_p/N_s$  以及互感器的励磁损耗  $I_{ex}$  来计算电流互感器的比差与角差

$N_p/N_s$  匝数比可以在空载情况下通过向电流互感器的二次线圈施加电压，然后测量电流互感器一次感应电压计算得到

$I_{ex}$  可以通过测量电流互感器二次线圈的励磁特性得到，因为  $I_{ex}$  是由二次线圈的感应电动势  $V_{ex}$  所决定，因此可以通过测量电流互感器二次线圈的励磁特性得到  $I_{ex}$  的幅值与相角，而当二次电流  $I_s$  已知，二次负荷  $Z_b$  已知，线圈内阻  $R_s + jL_s$  已知时，其对应的二次电动势

$V_{ex}$  可以通过以下公式计算得到:

$$V_{ex} = I_s \times |R_s + jL_s + R_b|$$

通过励磁特性所获得的电动势和励磁电流对应数据表, 可以查到  $V_{ex}$  对应的励磁损耗电流  $I_{ex}$  数值和相角关系, 从而可以推算在已知二次电流为  $I_s$  时的电流互感器比差与角差

### 3 计量用电流互感器定义

IEC60044-1 中对 0.1, 0.2S, 0.2, 0.5S, 0.5, 1, 3 和 5 级电流互感器是按照复合误差来定义的, 其中 0.1, 0.2, 0.5 和 1 级对 5%, 20%, 100% 和 120% 额定电流处的比差与角差做出了规定与要求, 0.2S 和 0.5S 级对电流互感器的 1%, 5%, 20%, 100% 和 120% 额定电流处的比差和角差做出了规定与要求。3 和 5 级只是对 50%, 120% 额定电流处的比差做出了规定与要求, 对角差没有限制, 详细的误差限值表格可以在 GB1208-2006 中查到。

复合误差的定义公式如下:

$$\varepsilon_e = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_n i_s - i_p)^2 dt}$$

其中  $I_p$  是一次电流有效值

$K_n$  是电流互感器的额定变比

$i_s$  是电流互感器二次侧的瞬时电流

$i_p$  是电流互感器一次侧的瞬时电流

电流互感器角差的定义是一次电流相量与二次电流相量的角度差, 当二次电流相量超前一次电流相量时则相角差为正值, 否则为负值

### 4 计量用电流互感器的测试

#### 4.1 测试项目

计量用电流互感器最重要的参数是其比差与角差, 对计量用电流互感器进行检测与试验时, 需要测试的指标如下:

- 1> 额定负荷和 下限负荷下电流互感器在国家标准规定处的电流比差与角差
- 2> 电流互感器实际连接的二次回路负荷
- 3> 电流互感器的极性
- 4> 电流互感器铭牌的仪器安保系数 FS 校核

其中电流互感器二次回路负荷的校验非常重要, 因为电流互感器的比差和角差跟所连接负荷值密切相关, 必须保证电流互感器实际连接的二次回路负荷值在铭牌标识的范围内, 否则对电流互感器误差的校验没有意义

校核计量用电流互感器的极性是为了保证接入功率表的电流互感器二次侧信号能够准确反应系统功率输送的方向, 因此必须保证电流互感器的极性标识正确

计量用电流互感器存在一个叫仪器安保系数  $FS$  的参数，其含义是互感器实际输出电压不会超过  $FS \times V_{sr}$ ， $V_{sr}$  是电流互感器二次端电压的额定值即电流互感器连接额定负荷，且通过额定电流时，二次端子上的电压有效值。二次系统在设计时会考虑到所接入仪表的最大耐受电压，以防止计量用电流互感器发生开路时损坏所连接的仪表，这个最大耐受电压会超过  $FS \times V_{sr}$ ，当计量用电流互感器发生开路时其最大输出电压肯定要小于  $FS \times V_{sr}$ ，这里的  $FS$  是电流互感器上铭牌的标识值，实际测试时必须确认计量用电流互感器的仪器安保系数小于铭牌标识的  $FS$  值

## 4.2 测试仪器选择

在对计量用电流互感器进行试验时，通常采用的仪器清单如下：

- 1> 互感器校验装置，需要的设备包括升流器，标准电流互感器，负载箱和校验仪
- 2> 二次负荷测试仪
- 3> 极性测试仪

通过这些仪器可以完成电流互感器比差角差校核，极性检查和二次回路阻抗测量，但是并不能校核电流互感器的仪器安保系数，且存在以下固有缺陷：

1) 对于一次额定电流较大的电流互感器，所需的设备将会非常重且体积庞大，可能需要 1 卡车的设备才能完成电流互感器的校验。这使得现场校验工作变得非常困难。

2) 传统的互感器校验装置适用范围非常有限，对于一次电流较低和一次电流较高的互感器不能同时适用，因此需要配多套标准互感器和升流装置，这使得校准装置变得更加复杂且不便于运输

3) 互感器校验装置不能校核二次回路的阻抗，互感器极性和仪器安保系数，需额外配置专用仪器来进行测量

而基于电压法测量电流互感器误差的 HYVA-405 则不存在这些问题，所有的参数包括比差，角差，二次负荷，极性和仪器安保系数等只需一次接线就可以全部获得，并且测量所得的比差典型误差仅 0.02%，保证误差小于 0.1%，角差仅 2min，完全可以用来对 0.2S 以上的互感器进行现场校准。

因此整个仪器仅 15KG 重的 HYVA-405 非常适合于用作电流互感器的现场校验仪器，替代传统的互感器校验装置和二次负荷测试仪等，并且 HYVA-405 还可以根据测试所得数据与国家规定的规定值进行自动比对，给出互感器是否合格的结论。可以大大提供试验工作的效率，并减少人为的失误。图 3 和图 4 列举的是 HYVA-405 测试所得的误差数据和自动评估结果



图 3 HYVA-405 测量比差与角差



图 4 HYVA-405 的自动评估功能

## 5 总结

华英电力科技有限公司的 HYVA-405 CTPT 分析仪根据电流互感器的等效模型,从测量计量用电流互感器损耗,励磁特性和匝数比等方面间接推算电流互感器在不同额定电流下的比差与角差数据,并且 HYVA-405 在测量比差角差的同时还可以很方便的获得计量用电流互感器的极性和二次负荷的参数,自动完成测试结果的评价与分析,相对于传统的测试方法, HYVA-405 的体积和重量均大大降低,使得计量用电流互感器的现场校准与测试变得非常方便。

作者简介:

王兰芳 男 1983 年 10 月出生,华中科技大学硕士研究生,武汉市华英电力科技有限公司技术总监,从事互感器,变压器,断路器,发电机试验方法研究和相关智能化试验仪器仪表设计开发多年