

# 1000 kV 保护用电流互感器励磁特性试验及数据分析

孔祥平, 高磊, 黄浩声, 李鹏, 王业  
(江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103)

**摘要:** 保护用电流互感器(TA)的性能优劣直接影响保护装置的动作行为和电力系统的运行安全, 而检验其性能是否满足运行要求的最有效方法是对保护用电流互感器开展励磁特性试验。文中介绍了工频法、变频法和直流法等几种常用的励磁特性试验方法及其优缺点, 并指出需采用变频法对 1000 kV 套管电流互感器进行励磁特性试验。最后介绍了特高压输变电工程中 1000 kV 套管电流互感器的励磁特性试验方案, 并以 1000 kV 气体绝缘全封闭组合电器的套管电流互感器的励磁特性试验为例, 对现场试验数据和被测电流互感器的性能进行了分析。

**关键词:** 保护用电流互感器; 性能检验; 励磁特性试验; 数据分析

**中图分类号:** TM452

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2016)03-0060-04

保护用电流互感器(TA)是继电保护装置的主要设备之一, 其性能直接影响电力系统的安全运行<sup>[1]</sup>。由于保护用TA的性能无法满足实际现场应用要求而导致TA饱和, 从而引起保护误动的事件时有发生, 特别是各侧TA饱和性能不一致造成差动保护误动的问题尤为突出<sup>[2]</sup>。对保护用TA开展励磁特性试验, 是检测保护用TA性能最常用、最有效的方法。通过开展励磁特性试验, 可以检查TA的铁心质量, 判断TA的绕组有无匝间短路、励磁特性曲线是否满足保护装置运行要求, 以确保设备安全运行<sup>[3]</sup>。

## 1 TA 励磁特性试验方法

TA 励磁特性试验的接线如图 1 所示。

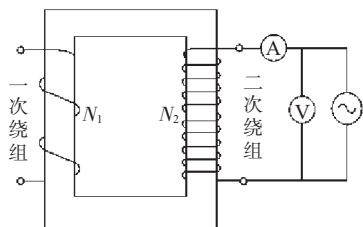


图 1 TA 励磁特性试验原理接线

在图 1 中,  $N_1$  为 TA 一次绕组匝数,  $N_2$  为被测二次绕组匝数。在进行励磁特性试验时, TA 一次绕组、以及除被测二次绕组外的其余二次绕组均应开路。根据图 1 中试验电源输出电压频率  $f$  的不同, TA 励磁特性试验方法可分为工频法、直流法和变频法等 3 种。

### 1.1 工频法

所谓的工频法, 就是在工频条件下对 TA 进行励磁特性试验。在试验过程中, 保持试验电源输出电压的频率  $f=50\text{ Hz}$  不变, 调节其幅值, 使得被测二次绕组中的电流逐渐上升, 从而绘制被测绕组的励磁特性曲线。

工频法原理简单, 试验电源易获取且操作方便, 但是为保证被测 TA 的安全, 试验电源的输出电压不能过高, 一般不超过 2500 V。然而, 在特高压输变电工程中, 高电压、大变比的保护用 TA 在现场被大量采用。此类 TA 的拐点电压较高, 传统的工频法难以满足试验要求。

### 1.2 直流法

直流法是通过试验电源在被测二次绕组上施加一恒定的直流电压, 使磁通逐渐上升并达到饱和来确定 TA 的励磁特性<sup>[4]</sup>。利用直流法进行 TA 励磁特性试验的过程是测量、记录励磁电流  $I$ , 并对绕组两端电压进行积分得到磁通  $\Phi$ 。根据记录的电流和磁通绘制 TA 各绕组的  $\Phi-I$  励磁特性曲线。

直流法可以避免 TA 绕组和二次端子承受过电压, 通过正反充放电的测量方法可得到完整的励磁曲线, 但无法适用于三相角接 TA 的励磁特性试验。

### 1.3 变频法

所谓变频法, 其采取的试验电源的输出电压频率是变化的。在励磁特性试验过程中, 可以不断地降低输出电压频率, 以相应地将折算至 50 Hz 条件下的等效电压值提高至 TA 的拐点电压以上<sup>[5,6]</sup>, 从而得到被测 TA 的励磁特性曲线。

变频法实现 TA 励磁特性试验的原理是励磁阻抗  $Z_m=j2\pi fL_m$  的大小与电压频率成正比, 因而降低频率可以降低励磁阻抗, 从而能够在较低励磁电压下获得相同的励磁电流。试验频率  $f_x$  下实测试验电源输出电压的峰值  $U_x$  与额定频率  $f$  下的等效电压峰值  $U$  的折算关系为:

$$U = U_x f / f_x \quad (1)$$

采用变频法进行 TA 的励磁特性试验的优点主要体现在以下几个方面: (1) 理论上可以满足任何电压

等级下任意变比的TA励磁特性试验要求;(2)设备输出容量低,无需大容量的升压装置,工作效率高,且不受试验场所限制;(3)在低电压下完成试验,试验过程中人身、设备安全得到保障。

## 2 1000 kV 套管 TA 励磁特性试验方案

在特高压输变电工程中,1000 kV TA 主要安装在变压器、电抗器套管处以及 GIS 断路器两侧,均为套管式 TA。由于 1000 kV 套管 TA 的变比很大,其拐点电压较高,尤其是 1000 kV GIS 套管 TA 的拐点电压甚至高达 27 000 V。为了满足高电压、大变比 TA 励磁特性试验的要求,得到完整、准确的 TA 励磁特性曲线,在现场使用变频法开展 TA 励磁特性试验。下面分别介绍变压器/电抗器套管 TA 和 GIS 套管 TA 的励磁特性试验方法。

### 2.1 主变/电抗器套管 TA 励磁特性试验

变压器/电抗器套管 TA 励磁特性测试接线如图 2 所示。在进行某相套管 TA 试验时,TA 分析仪的 2 个 C1 端接套管 TA 所测量绕组的 S1 端,TA 分析仪的 2 个 C2 端接套管 TA 所测量绕组的 S2 端并接地。试验时保证 TA 一次侧、除被测二次绕组外的其余二次绕组开路。



图 2 变压器/电抗器套管 TA 励磁特性测试接线

### 2.2 GIS 套管 TA 励磁特性试验

将 GIS 套管 TA 两端一次线断开,并合上接地刀闸,按图 3 所示方法接线,TA 分析仪的 2 个 C1 端接 TA 所测量绕组的 S1 端,TA 分析仪的 2 个 C2 端接 TA 所测量绕组的 S2 端并接地。试验时保证 TA 一次侧、除被测二次绕组外的其余二次绕组开路。

按上述接线方式接线完毕后,把被测 TA 绕组的铭牌参数输入到 TA 分析仪,确认正确后,点击开始即可进行相关试验。

### 2.3 试验注意事项

1000 kV 套管 TA 励磁特性试验属于特殊性交接试验,由于现场正在施工,试验环境较为复杂,在试验过程中尤其需要注意以下事项,以确保试验人员和周

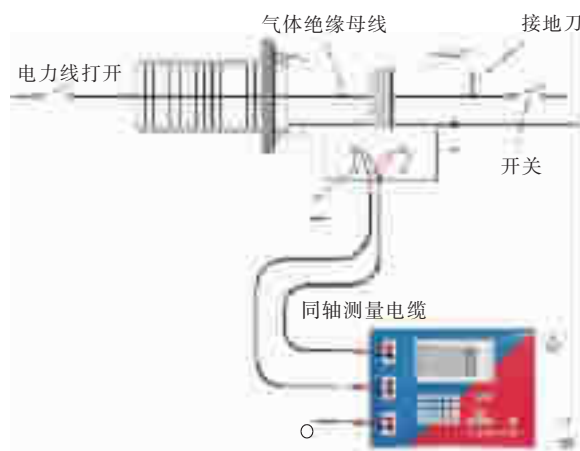


图 3 GIS 套管 TA 励磁特性测试接线

围其他工作人员的人身安全以及 TA 分析仪和被测 TA 的设备安全。

(1) 试验人员应熟悉 TA 励磁特性试验的有关步骤和方法,提前做好试验前的各项准备工作。

(2) 进入试验现场,试验人员必须戴安全帽、穿绝缘鞋。

(3) 试验前应详细了解现场情况,并与施工单位和 TA 厂家的技术人员进行充分沟通,检查安全工器具、被测 TA 和测试仪器。

(4) 合理使用临时电源;保证 TA 分析仪金属外壳接地良好;试验线路接好后,必须检查确认无误后,才能进行试验。

(5) 试验应在试验负责人统一指挥下进行;试验过程应呼唱,试验人员在试验过程中注意力应高度集中,防止异常情况的发生;出现异常情况时,应立即停止试验,查清原因后决定是否继续试验。

(6) 在作业单元遇交叉作业情况时,立即停止工作。直至协商完成后,并安排专人进行看护,方可继续试验。

(7) 遇突发降雨、大风、雷电等恶劣天气情况,立即降压降流,切断电源,停止试验。

## 3 励磁特性试验数据分析

依据 GB 16847—1997<sup>[7]</sup>和 GB/T 50832—2013<sup>[8]</sup>等标准,利用变频法对 1000 kV GIS 套管的 5P 级和 TPY 级保护用 TA 开展了励磁特性试验。5P 级和 TPY 级保护用 TA 的主要技术参数如表 1 所示。出厂试验数据如表 2 所示。利用变频法得到的现场试验数据则如表 3 所示,励磁特性曲线分别如图 4、图 5 所示。

对比表 2 和表 3 可以看出,被测 1000 kV GIS 套管的 5P 级和 TPY 级保护用 TA 的出厂试验数据与现场试验数据的差别较小。下面主要针对被测 5P 级和 TPY 级保护用 TA 的拐点电压进行分析。对于 TPY 级保护用 TA,其额定二次极限电动势  $E_{al}$  为:

表 1 1000 kV GIS 套管 TA 主要技术参数

TPY 级保护用 TA		5P 级保护用 TA	
编号	TA121	编号	TA125
额定频率 /Hz	50	额定频率 /Hz	50
额定一次电流 /A	6000	额定一次电流 /A	6000
额定二次电流 /A	1	额定二次电流 /A	1 A
额定负荷 /V·A	12	额定负荷 /V·A	15
二次绕组电阻 /Ω	30.31	二次绕组电阻 /Ω	41.64
对称短路电流倍数	20	准确限值系数	25

表 2 1000 kV GIS 套管 TA 出厂试验数据

编号	项目	数据				
TA121	电流 /A	0.424 3	0.495 0	0.567 5	0.636 4	0.735 4
	电压 /V	15 938	18 590	21 153	23 493	26 099
TA125	电流 /A	0.015	0.017	0.019	0.021	0.023
	电压 /V	1800	1850	1920	1972	2000

表 3 1000 kV GIS 套管 TA 现场试验数据

编号	项目	数据			
TA121	电流 /A	0.4	0.6	0.8	1.0
	电压 /V	14 355	21 324	26 294	27 888
	拐点电压 /V	27 539			
TA125	电流 /A	0.01	0.02	0.04	0.05
	电压 /V	1501	1961	2189	2249
	拐点电压 /V	2003			

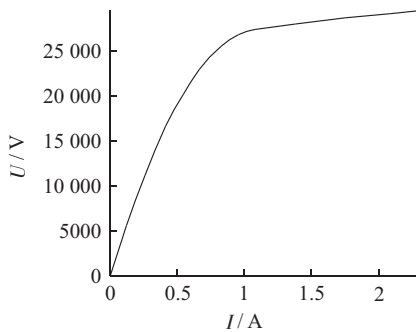


图 4 CT121 的励磁特性曲线

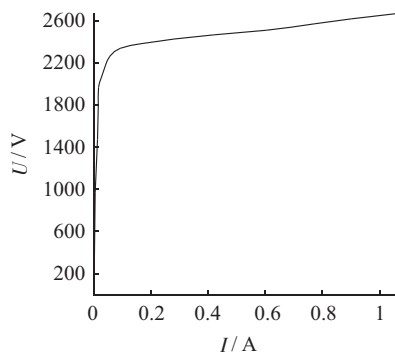


图 5 CT125 的励磁特性曲线

$$E_{al} = K_{td} K_{ssc} I_{sn} (R_{TA1} + Z_{bn1}) \quad (2)$$

式中:  $K_{ssc}$  为对称短路电流倍数;  $I_{sn}$  为额定二次电流;  $R_{TA1}$  为被测 TPY 级保护用 TA 的二次绕组电阻;  $Z_{bn1}$  为被测 TPY 级保护用 TA 的额定负荷 (功率因数取 1);  $K_{td}$  为额定暂态面积系数。

按照单次励磁 (C-O) 工作循环计算, 则:

$$K_{td} = \frac{\omega_s T_p T_s}{T_p - T_s} (e^{-t_1/T_p} - e^{-t_1/T_s}) + 1 \quad (3)$$

式中:  $\omega_s = 314.16 \text{ rad/s}$ , 为同步角频率;  $T_p = 0.12 \text{ s}$ , 为 1000 kV 系统一次回路时间常数;  $T_s = 3.9 \text{ s}$ , 为 TPY 级保护用 TA 的二次回路时间常数;  $t_1 = 0.1 \text{ s}$ , 为断路器首次切断时间。计算可得  $K_{td}$  约为 22.0; 由式 (1) 计算可得,  $E_{al} = 18 616 \text{ V}$ 。

对于 5P 级保护用 TA, 其额定二次极限电动势:

$$E_{sl} = K_{alf} I_{sn} (R_{TA2} + Z_{bn2}) \quad (4)$$

式中:  $K_{alf}$  为准确限值系数;  $R_{TA2}$  为被测 5P 级保护用 TA 的二次绕组电阻;  $Z_{bn2}$  为被测 5P 级保护用 TA 的额定负荷 (功率因数取 1)。计算可得,  $E_{sl} = 1416 \text{ V}$ 。

对比式 (2)、式 (4) 和表 3 所示的套管 TA 现场试验数据可以发现, 被测 TPY 级和 5P 级保护用 TA 的拐点电压实际值大于其相应的额定二次极限电动势; 同时与出厂试验数据和同类别 TA 的励磁特性试验结果进行比较, 被测 TPY 级和 5P 级保护用 TA 符合运行使用要求。

#### 4 结束语

开展保护用电流互感器的励磁特性试验, 以检验其性能是否满足运行要求, 是特高压输变电工程的一项重要现场交接试验。文中介绍了 1000 kV 变压器、电抗器和 GIS 的套管 TA 励磁特性试验方案; 并指出需采取变频法开展 1000 kV 套管 TA 的励磁特性试验, 以应对特高压现场中高电压、大变比 TA 拐点电压高的实际情况。同时, 从拐点电压的角度对 1000 kV GIS 套管 TA 的现场试验数据进行了分析。该研究成果可以为特高压现场开展保护用 TA 的励磁特性试验提供借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 李园园, 沈 军, 朱晓彤, 等. 区域电网电缆—架空线混合线路故障区间判别方法及实现[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(2): 64-68.
- [2] 覃燕凤. TA 饱和特性对继电保护的影响分析[J]. 电气开关, 2013(3): 96-99.
- [3] 梁仕斌, 王建新. 电流互感器励磁特性试验及其新方法[J]. 继电器, 2007, 35(S): 398-402.
- [4] 王茂松, 田文革, 杜建嵩, 等. 测定保护用电流互感器铁心励磁特性的直流法[J]. 变压器, 2005, 42(4): 1-3.
- [5] 梁仕斌, 文 华, 赵 涓, 等. 低频变频电源测量铁磁元件伏安特性的一种补偿计算方法[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(3): 125-129.
- [6] 张地生, 孔 忻, 李 哈, 等. 电流互感器伏安特性测试方法的研究[J]. 高压电器, 2012, 48(6): 80-84.
- [7] 全国变压器标准化技术委员会. GB 16874—1997 保护用电流

互感器暂态特性技术要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.  
 [8] 全国变压器标准化技术委员会. GB/T 50832—2013 1000 kV 系统电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.

作者简介:

孔祥平(1988), 男, 江西上饶人, 工程师, 从事电力系统继电保护研究工作;

高磊(1982), 男, 山东青岛人, 高级工程师, 从事智能变电站调试、运维技术的研究工作;

黄浩声(1979), 男, 浙江温岭人, 高级工程师, 从事直流输电控制与保护研究工作;

李鹏(1982), 男, 陕西周至人, 高级工程师, 从事直流输电控制与保护研究工作;

王业(1984), 男, 江苏南京人, 工程师, 从事直流输电控制与保护研究工作。

## Excitation Features Testing and Field Data Analysis for the Current Transformer Used in 1000 kV Protection

KONG Xiangping, GAO Lei, HUANG Haosheng, LI Peng, WANG Ye

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** The performance of the current transformer used in protection is of great significance to the action of relay protection and the operation safety of power systems. In order to evaluate the performance of the current transformer used in protection, it is necessary to implement excitation features test. The commonly used excitation features testing methods (such as power frequency method, variable frequency method and direct current method), as well as their advantages and disadvantages are introduced. It is pointed that the variable frequency method should be adopted for the excitation features testing of 1000 kV current transformer. Moreover, the excitation features testing schemes for the 1000 kV current transformer used in Gas Insulated Switchgear (GIS) are introduced. Finally, according to the field testing data of the 1000 kV current transformer, the performances of the tested current transformers are analyzed.

**Key words:** current transformer used in protection; performance evaluation; excitation features testing; data analysis

(上接第 59 页)

## Method to Forest Fire Monitoring Based on Infrared Detector

ZHANG Zhen<sup>1</sup>, ZHANG Chen<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Electric Power Company Maintenance Branch, Nanjing 211102, China;

2. Shanghai Armed Police Corps, Shanghai 200051, China)

**Abstract:** More and more UHV transmission line pass through forests. A method of forest fire monitoring based on infrared detector is proposed to reduce the influence of forest fire to the stabilization of UHV transmission. The signal of forest fire is detected by infrared detector and sampled by DSP based equipment. The location of forest fire is displayed by a background program. A virtual forest fire is detected. It is proved that the equipment can monitor forest fire in a certain area and the method is practicable.

**Key words:** infrared detector; UHV transmission line; forest fire monitoring; remote terminal unit

## 下 期 要 目

- 1000 kV 特高压变压器快速试验系统设计
- 基于 PSS/E 的统一潮流控制器动态建模及仿真
- 特高压电抗器局部放电试验方案探索
- 热电联产机组实时监测数据有效性诊断
- 基于配送路径优化的换电网络一体化调度研究
- 电流互感器饱和导致保护拒动事故的分析
- 燃煤发电机组脱硝系统稳定运行影响因素分析
- 超临界锅炉末级过热器管屏三维数值分析
- 烟气预洗涤出力技术存在问题及对策分析
- 基于 PSCAD/EMTDC 的 1000 kV 特高压变压器仿真