

DOI: 10.7667/PSPC201781

1000 kV CVT 运行状态下误差测试技术研究

吴士普¹, 吴细秀², 李璿¹, 汪本进¹, 徐思恩¹, 冯宇¹, 邱进¹

(1. 中国电力科学研究院, 湖北 武汉 430074; 2. 武汉理工大学, 湖北 武汉 430070)

摘要: 分析了 1000 kV CVT 运行状态下进行误差测试的必要性。讨论了温度的变化、频率、邻近带电体和二次负载等因素对 CVT 误差的影响。对比了 1000 kV CVT 在出厂试验、交接试验和在线运行时的接线差异。在此基础上提出 1000 kV CVT 运行状态下误差测量的原则和方法, 并研制出一套 1000 kV CVT 误差在线测试系统。利用该系统完成了工程中运行状态下出线侧 1000 kV CVT 误差测试。本测试方法对后续的特高压工程的设计、施工、交接试验以及在线监测等都具有重要意义。

关键词: 特高压; 电压互感器; 误差; 测量; 交接试验

Study on error test technology for 1000 kV CVT under operation condition

WU Shipu¹, WU Xixiu², LI Xuan¹, WANG Benjin¹, XU Sien¹, FENG Yu¹, QIU Jin¹

(1. China Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China;

2. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: The necessary of error test for 1000 kV CVT under operation condition is analyzed. The factors influencing the CVT error such as temperature variation, frequency, adjacent charged body and the secondary load are discussed. The wiring difference of routine test, on-site acceptance test and online operation of 1000 kV CVT is compared. On this basis, the principle and the method of error measurement for 1000 kV CVT when operation are proposed and a 1000 kV CVT online error calibration system is developed. Applying the calibration system, error tests for 1000 kV CVT outlet side in engineering operation are finished. The error test provided is significant to the design, construction, on-site acceptance test, and online monitoring of subsequent UHV project.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. GYB17201600161).

Key words: UHV; voltage transformer; error; measurement; on-site acceptance test

0 引言

随着我国交流特高压工程的建设, 作为测量和保护用的 1000 kV 电容式电压互感器(Capacitor Voltage Transformer, CVT)的数量将越来越多。目前特高压 CVT 只是在交接试验时进行离线状态下的误差测量, 对运行中的 CVT 基本不进行误差测试^[1-3]。在新建特高压变电站中, 为优化设计, 部分 CVT 兼作支撑用, 与其他设备的电气距离较近, 不具备离线交接试验的条件, 只能在带电条件下对 CVT 的误差进行校核; 由 CVT 结构特点可知, 其误差特性受分布电容及综合电场分布影响很大, 使得离线状态下测得的误差与现场运行情况下的实际

误差存在偏差。电压等级越高, 邻近效应所造成的影响就越大^[4-7]。

因此, 有必要研究一种高电压等级下尤其是特高压下 CVT 误差特性现场在线测试方法, 使之既能解决工程现实需要, 又能完成更加贴合 CVT 实际运行状况的误差测试方法。

1 1000 kV CVT 工作原理及附加误差

1000 kV CVT 的原理电路如图 1 所示, 它由电容分压器和电磁单元两部分组成。图中 C_1 为高压电容, C_2 为中压电容, L 为补偿电抗器, T 为中间变压器, $1a1n$ 、 $2a2n$ 、 $3a3n$ 为二次绕组端子, $dadn$ 为剩余绕组端子, ZR_1 和 ZR_2 为阻尼器。

在特高压变电站中, 1000 kV CVT 和一次导体的连接方式有三种, 如图 2 所示。

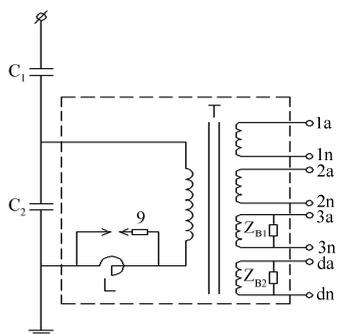


图 1 1000 kV CVT 原理图

Fig. 1 Configuration of 1000 kV CVT

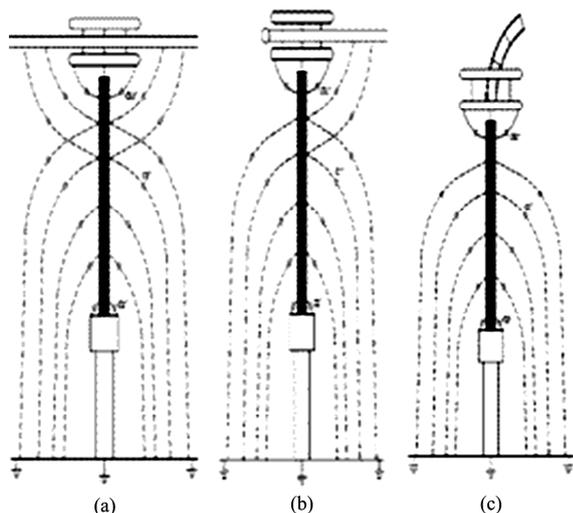


图 2 特高压变电站中特高压 CVT 的 3 种安装方式

Fig. 2 Three installation modes of UHV CVT

in UHV substation

图 2(a)是线路侧带高抗的 CVT 安装方式,一次管母从 CVT 顶端双环穿过, CVT 同时具有支柱绝缘子的作用。此时,分压器高压电容对均压环和母线分布电容 C_1' 有所增加。

图 2(b)是线路侧不带高抗的 CVT 安装方式,一次管母从 CVT 顶端双环穿过, CVT 同时作为一次管母的终端支柱绝缘子使用。此时,分压器高压电容对均压环和母线分布电容 C_1' 也有所增加,增加幅度略小于上一种情况。

图 2(c)是变压器侧的 CVT 安装方式, CVT 采用分裂导线以近乎垂直的角度与一次母线相连。此时,分压器高压电容对均压环和母线分布电容 C_1' 增加幅度可以忽略。

受条件限制, 1000 kV CVT 在出厂试验时, 其安装高度、接线方式与实际运行时存在差别。

图 3(a)是出厂试验时试品的布置方式, 受出厂试验条件的限制, 试品只能放置在地面进行试验, 实际高度与运行中的设备相差将近 4 m, 存在杂散

电容的影响。

图 3(b)是交接试验时试品的布置情况, 此时虽然试品安装在设备支架上, 但周边物体的邻近效应影响与实际运行时也有差别。

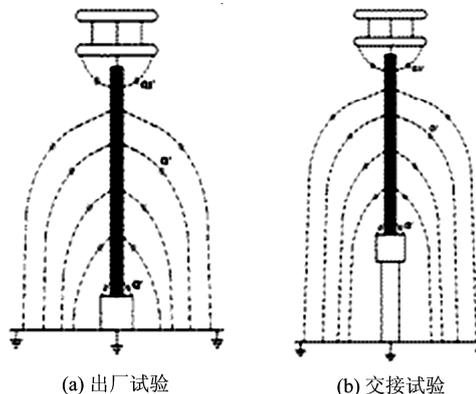


图 3 CVT 出厂试验、交接试验时安装方式

Fig. 3 Installation modes of CVT routine test and on-site acceptance test

另外, 在进行出厂试验或现场交接试验时, 如果标准电压互感器高度较低, 则会造成高压引线与试品夹角小于 90° 的情况, 高压引线的角度不同会改变 CVT 电容分压器的有效分压比。

由于 CVT 的前级是电容分压器, 而电容是一种对温度、频率和邻近效应较为敏感的元件, 运行中温度变化、邻近带电体和二次负载都将会对 CVT 的误差产生影响, 因此出厂试验、交接试验时的试验条件并不能准确反映实际运行情况^[8-9]。

1) 高压引线及邻近物体产生的杂散电容的影响

安装在基座上的 1000 kV 柱式 CVT 顶端距地面的高度约 12 m 左右, 与最近的带电体距离约 3 m; 耦合电容器的额定电容量(5000 pF)与 500 kV CVT 相同, 高压引线的影 响更大。1000 kV 柱式 CVT 的一次连线和耦合电容器成直线或 45° , 或是用母线管连接成 90° , 对等值电容分压器高压臂电容(C_1)的影响很大, 根据导线的直径不同, 等值电容 C_1 增量可达 20~30 pF, 会导致分压比发生相差 0.3% 左右的偏差^[10]。

2) 频率影响

经计算, 电网频率变化引入的比值附加误差 Δf 和相位附加误差 $\Delta \delta$ 分别为

$$\begin{cases} \Delta f = \left(\frac{\omega}{\omega_n} - \frac{\omega_n}{\omega} \right) \cdot \frac{Q \times 100}{\omega_n (c_1 + c_2) (U_2')^2} \times 100 (\%) \\ \Delta \delta = \left(\frac{\omega}{\omega_n} - \frac{\omega_n}{\omega} \right) \cdot \frac{P \times 3440}{\omega_n (c_1 + c_2) (U_2')^2} (\text{°}) \end{cases} \quad (1)$$

从频率变化产生的附加误差看, 此类附加误差随二次负荷的增加而增加, 随 CVT 中间电压的减少而增大, 且电网频率大于额定频率时为正值。CVT 在额定负荷下的比差为负, 角差多为正值^[11-12]。

3) 温度影响

温度变化会引起补偿电抗器、中间变压器绕组电阻的变化, 引起感抗和容抗的变化, 还会引起电容分压器的分压比变化。补偿电抗器和中间变压器绕组电阻受温度影响产生的附加误差较小, 可忽略; 电容器受温度影响产生的容抗变化通过控制电容器的温度系数来限制, 耦合电容器及电容分压器标准 JB/T8169-1999 要求电容器在温度类别下限温度和比上限温度高 15 K 的温度范围内测得的电容温度系数的绝对值应不大于 $5 \times 10^{-4}/K$ 。值得一提的是, 当 C_1 与 C_2 在不同的工作温度下运行, 10 K 产生的分压比误差达 0.5%。 C_1 与 C_2 采用相同结构(包括材料、工艺)可减少引入的附加误差, 使 C_1 与 C_2 具有相近的冷却条件。一般要求电容分压器分压比误差变化应小于 0.1%, 由此引入的比值附加误差小于 0.05%, 相位附加误差小于 1.5'。推算的温度变化引入的比值附加误差 Δf 和相位附加误差 $\Delta \delta$ 分别为

$$\begin{cases} \Delta f = \frac{Q \times \alpha_c \times \Delta t \times 100}{\omega_n (c_1 + c_2) (U'_2)^2} \quad (\%) \\ \Delta \delta = \frac{P \times \alpha_c \times \Delta t \times 3440}{\omega_n (c_1 + c_2) (U'_2)^2} \quad (') \end{cases} \quad (2)$$

其中电容温度系数 α_c 取 $-1 \times 10^{-4}/K$, $\Delta t = 20 - (-40) = 60 K$, 以电容量为 5000 pF、中压 20 kV 和 500 kV CVT 为例:

$$\begin{cases} \Delta f = 0.011 \quad (\%) \\ \Delta \delta = 0.49 \quad (') \end{cases}$$

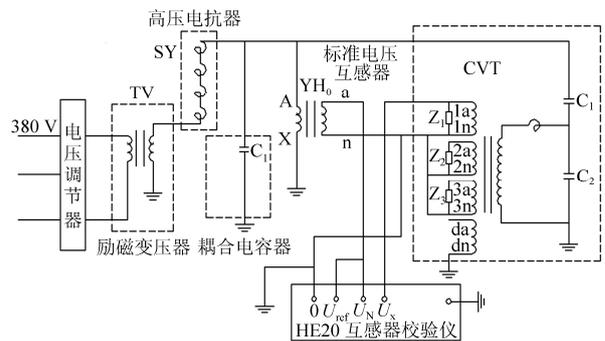
由此可见, 温度影响量较小, 这与实际情况有较大差异。因为这种温度引入的附加误差计算只是考虑温度对电容量影响导致的误差特性曲线偏移。之所以发生理论计算与实际测量情况的差异是因为耦合电容器的温度分布是不均匀的, 可能出现耦合电容器上下、前后都会有温度差, 使得耦合电容器分压比发生的变化较大。而理论计算仅仅考虑电容量发生变化导致感抗和容抗发生偏移^[13-16]。

4) 二次回路的影响

在进行出厂试验或交接试验时, 涉及的设备包括试验电源、试品、标准电压互感器和校验仪等。如果二次回路布置不合理, 加上标准电压互感器和试品分别连接校验仪的引线长度不同, 会在引线上感应出不同的电压, 造成测试结果偏大甚至无法测量的情况。

2 1000 kV CVT 运行状态下误差测试的必要性

1000 kV CVT 现场交接试验时通常采用串联谐振装置作为升压设备, 采用差值法在额定负荷及四分之一额定负荷下进行误差测量。试验线路见图 4。电压调节器、励磁变压器和高压电抗器等构成升压电源系统, 标准电压互感器 YH_0 和电容式电压互感器 CVT 一次并联, 二次绕组接规定的二次负荷 (Z_1 、 Z_2 、 Z_3), 被检二次绕组(二次输出)的低压端对接, 二次绕组高压端接入互感器测差仪(亦称互感器校验仪)。测差仪平衡时的显示值称之为示值误差^[13-15]。



TV—励磁变压器; SY—高压电抗器;
YH₀—标准电压互感器; CVT—被试 CVT

图 4 CVT 接线原理图

Fig. 4 Principle circuit of CVT

特高压 CVT 三种误差试验的比较如表 1 所示。交接试验时误差测量存在以下问题:

1) 特高压工程中部分 1000 kV CVT 与最近物体的距离不足 3 m, 不满足误差试验时的安全距离, 无法开展交接试验。

表 1 特高压 CVT 三种误差试验的比较

Table 1 Comparison of three error tests of UHV CVT

影响因素	出厂试验	交接试验	在线测试
试品位置	就地 不符合实际情况	变电支架 符合实际情况	变电支架 符合实际情况
试验接线	临时接线 不符合实际情况	临时接线 不符合实际情况	实际接线 符合实际情况
相间干扰	无 不符合实际情况	不充分 不符合实际情况	充分 符合实际情况
二次负荷	25%~100% 额定负荷	25%~100% 额定负荷	实际负荷 (实测 < 25% 额定负荷)
测试方式	离线	离线	在线
综合比较	三种误差试验中, 通过对影响 CVT 误差偏移的几项因素进行综合比较, 只有在线测试方法完全符合 CVT 实际运行误差特性, 交接试验次之, 出厂试验误差数据与实际运行误差数据之间的偏差较大。		

2) 交接试验时高压引线与 1000 kV CVT 之间有一定的夹角, 与运行时的实际接线不同, 会引入一定的附加误差。

3) 交接试验时在额定负荷及下限负荷下测量误差, 而运行时实际负荷可能小于下限负荷。

4) 交接试验时 CVT 周边物体不带电, 而运行时周边设备处于带电状态, 两种情况下引起的附加误差不同。

综上所述, 1000 kV CVT 在交接试验时要么不具备试验条件, 要么试验环境与实际运行情况有差别, 而 CVT 的误差容易受到温度、频率、二次负荷及邻近效应的影响。因此, 有必要开展运行状态下的误差测试^[17-19]。

3 1000 kV CVT 运行状态误差测试方法

特高压变电站中, 在 GIS 母线上配置了 1000 kV 电磁式电压互感器(PT), 在变压器侧和出线侧配置了 1000 kV CVT。根据工程实际情况, 需要对出线侧 CVT 在运行状态下进行误差测量。CVT 误差特性在线测试接线示意图如图 5 所示。

1000 kV 出线 CVT 误差在线测试方案实施的前提条件是: 母线电磁式电压互感器(PT)和变压器侧电容式电压互感器(变压器侧 CVT)进行完整的现场交接试验, 并有相应的误差数据; 出线侧 CVT 进行了 50%额定电压下的现场误差试验, 并有相应的误

差数据。

1000 kV CVT 运行状态下误差测量需具备的条件: GIS 母线安装有电磁式电压互感器(PT), 其 1a1n 绕组(计量绕组)运行状态误差测试供货要求是 0.2 级, 实测值满足 0.1 级, 且误差数据稳定, 可作为 CVT 运行状态误差测试的标准器。

CVT 误差在线测试采用电压互感器在线测试系统, 其中的保护隔离装置具有快速保护和高精度传变功能, 传变精度为 0.01 级; 电压互感器校验仪准确级为 1 级。

使用两台电压互感器校验仪对母线 A 相 PT 与变压器侧 A 相 CVT 和高抗侧 A 相 CVT 同时进行测试, 变压器侧 B、C 相 CVT 和高抗侧 B、C 相 CVT 同时进行误差同级比对。根据测试数据, 区分两种情况进行进一步处理: ① 变压器侧 A 相 CVT 测试数据与交接试验数据吻合, 则其 B、C 两相 CVT 可以作为标准器, 使用 2#校验仪对高抗侧的 B、C 两相 CVT 做误差同级比对; ② 变压器侧 A 相 CVT 测试数据与交接试验数据不吻合, 根据实测的误差值、交接试验的误差值、二次负荷和二次压降等数据, 计算误差调整值, 由 CVT 厂家现场服务人员在系统调试停电期间, 对高抗侧 B、C 相 CVT 按照上述计算的误差调整值同时进行误差的调整。

用同样的方法, 可以对高抗侧 CVT 的第二和第三绕组进行在线测试。

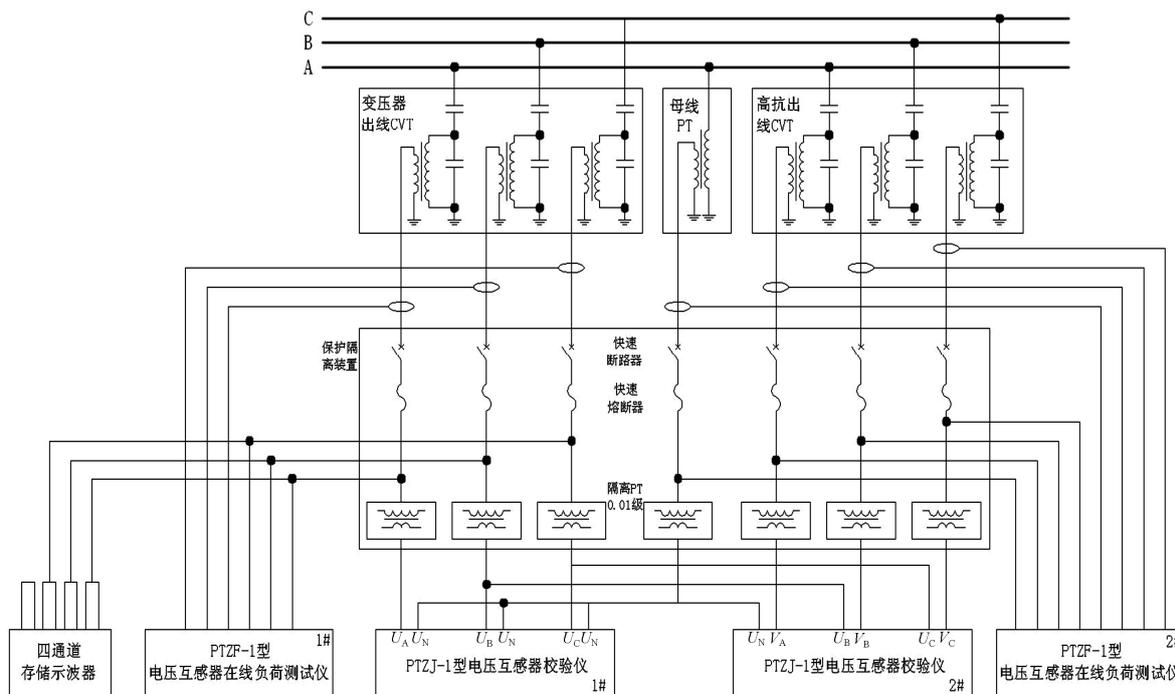


图 5 CVT 误差特性在线测试接线示意图

Fig. 5 Wiring diagram of online test for CVT error characteristic

4 1000 kV CVT 运行状态误差测试设备

目前尚无商品化的 CVT 误差在线测试系统,为满足工程测试需要,研制出专用的 CVT 误差在线测试系统。系统主要由二次输出信号转换装置、在线校验仪和在线负荷测试仪组成,测试系统通过了国家高电压计量站的检定,满足测量需求。

试验所需设备包括:

- 1) PTZJ-1 型电压互感器校验仪二台,可三相同步校验,准确级 2 级,相差测量范围为±180°;
- 2) PTZF-1 型电压互感器在线负荷测试仪三台;
- 3) PTZZ-1 型电压互感器二次输出信号转换装置三套(包括快速断路器、熔断器、隔离 PT 等);
- 4) 四通道存储示波器 DPO2014 一台;
- 5) 高压差分探头 P5200A 三支。

5 1000 kV CVT 运行状态误差现场实测

目前开展的特高压 CVT 误差特性在线测试在系统调试期间按照系统调试的安排和进度进行,获取了特高压高抗侧 CVT 以及对应的特高压主变侧 CVT 在实际运行工况下的误差特性数据,并对特高压 CVT 和特高压罐式 PT 的实际二次负荷等参数进行了测量。特高压工程 CVT 误差测试结果如表 2 所示。

表 2 特高压工程 CVT 误差测试结果

Table 2 Error test results for CVT in UHV project

测试数据						
	出厂试验 100%/2.5 VA		交接试验 50%/2.5 VA		在线测试 107%/0 VA	
	比差/%	相差/(°)	比差/%	相差/(°)	比差/%	相差/(°)
1a1n	0.05	4	0.06	4	0.1	1
2a2n	0.05	7	0.05	6	0.1	5
3a3n	0.04	10	0.05	10	0.1	4

6 结论

根据 1000 kV CVT 的原理和结构,结合对邻近效应、温度、频率和二次接线等影响其误差的因素进行分析,提出了适用于 CVT 运行状态下进行误差测量的方法。对比了出厂试验、交接试验和运行状态下误差测量的有效性。

1) CVT 因其原理和自身结构的特点,其误差易受到邻近效应、频率、温度和二次负荷的影响,且邻近效应的影响最大。

2) 与出厂试验和交接试验相比,运行状态下的误差测量在真实的接线方式、真实的二次负荷下进

行,更能反映 CVT 的实际误差。

3) 通过对运行条件下的试验数据、出厂试验数据和部分交接试验数据的初步分析和修约处理,各高抗侧 CVT 的各绕组二次误差尚处于各误差限值内,特别是第二和第三绕组(均为保护绕组)的误差均在 0.5/3P 级以内,满足特高压变电站正常运行要求。经进一步分析,大多数绕组的比差值出现正偏差,一致性比较强。这种情况与工程设计有关,高抗 CVT 的安装位置与高抗套管之间的中心距过小,使得 CVT 电容分压器的分布电容量增加,造成分压比出现一定的偏移,进一步影响 CVT 二次输出比差值发生正偏差。

参考文献

- [1] 王玲, 冯宇, 邱进, 等. 电压互感器谐波特性测量用可控谐波电压源的构建[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(16): 106-111.
WANG Ling, FENG Yu, QIU Jin, et al. Construction of controllable harmonic voltage source for harmonic characteristic measurement[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(16): 106-111.
- [2] 吴士普, 王晓琪, 李璿, 等. 1000 kV CVT 误差的现场试验方法[J]. 高电压技术, 2009, 35(5): 973-979.
WU Shipu, WANG Xiaoqi, LI Xuan, et al. Site test method of error for 1000 kV capacitor voltage transformer[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(5): 973-979.
- [3] 吴士普, 王晓琪, 叶国雄. 特高压交流试验示范工程用电压互感器的选型[J]. 高压电器, 2010, 46(2): 5-7.
WU Shipu, WANG Xiaoqi, YE Guoxiong. The lectotype of CVT in UHV pilot demonstration project[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(2): 5-7.
- [4] 张侃君, 戚宣威, 胡伟, 等. YD 型换流变三角形绕组 CT 饱和对直流保护的影响及对策[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 99-105.
ZHANG Kanjun, QI Xuanwei, HU Wei, et al. Impact of the CT saturation of the delta winding on the HVDC protection and its countermeasure[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 99-105.
- [5] 宋璇坤, 闫培丽, 肖智宏, 等. 全光纤电流互感器技术应用评述[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(8): 149-154.
SONG Xuankun, YAN Peili, XIAO Zhihong, et al. Comment on the technology and application of fiber optic current transformer (FOCT)[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(8): 149-154.
- [6] 毛安澜, 王晓琪, 王玲, 等. 电压互感器现场校验新方法的研究[J]. 电测与仪表, 2011, 48(6): 27-31.

- MAO Anlan, WANG Xiaoqi, WANG Ling, et al. Research on locale calibration new method of voltage transformers[J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2011, 48(6): 27-31.
- [7] 倪学锋, 严玉婷, 林浩, 等. 特高压 CVT 的选型对运行可靠性的影响[J]. *高电压技术*, 2006, 32(12): 104-107.
- NI Xuefeng, YAN Yuting, LIN Hao, et al. Type selection and operation of 1000 kV capacitor voltage transformer[J]. *High Voltage Engineering*, 2006, 32(12): 104-107.
- [8] 郭志华. 用电容式电压互感器标准测试 CVT 误差的方法[J]. *计量技术*, 2005(4): 36-38.
- GUO Zhihua. The method of using the standard of capacitor voltage transformer testing the error of CVT[J]. *Measurement Technique*, 2005(4): 36-38.
- [9] 王德忠, 王季梅. 电容式电压互感器误差特性的研究[J]. *高压电器*, 2001, 37(1): 5-9.
- WANG Dezhong, WANG Jimei. Study on error characteristic of capacitor voltage transformer[J]. *High Voltage Apparatus*, 2001, 37(1): 5-9.
- [10] 李佩军. 500 kV 电容式电压互感器误差现场检验方法的分析[J]. *电力建设*, 2005, 26(4): 43-45.
- LI Peijun. Analysis on site inspection method of error for 500 kV capacitance voltage transformer[J]. *Electric Power Construction*, 2005, 26(4): 43-45.
- [11] 王德忠, 王季梅. 电容式电压互感器误差频率特性的研究[J]. *高电压技术*, 2001, 27(2): 66-68.
- WANG Dezhong, WANG Jimei. The study of error characteristic charging with frequency for the capacitor voltage transformer[J]. *High Voltage Engineering*, 2001, 27(2): 66-68.
- [12] 杨春光, 张长青, 高敬更, 等. 750 kV CVT 现场检验误差影响因素分析[J]. *电子测量技术*, 2013, 36(9): 23-26.
- YANG Chunguang, ZHANG Changqing, GAO Jinggeng, et al. Analysis of 750 kV CVT on-site testing error factors[J]. *Electronic Measurement Technology*, 2013, 36(9): 23-26.
- [13] 余春雨, 王晓琪, 盛国钊. CVT 现场校准的误差来源与分析[J]. *电力电容器*, 2000(3): 27-31.
- YU Chunyu, WANG Xiaoqi, SHENG Guozhao. The error sources and analyses of field calibration for CVT[J]. *Power Capacitor*, 2000(3): 27-31.
- [14] 王红斌. 电容式电压互感器附加相位差对绝缘在线监测的影响[J]. *高压电器*, 2003, 39(4): 64-69.
- WANG Hongbin. Effect of CVT additional phase error on insulation monitoring on site[J]. *High Voltage Apparatus*, 2003, 39(4): 64-69.
- [15] 宁康红, 侯铁信, 舒乃秋, 等. 一种电力互感器校验的新方法[J]. *电力系统自动化*, 2003, 27(9): 70-72.
- NING Kanghong, HOU Tiexin, SHU Naiqiu, et al. A new verifying method for power transformer[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2003, 27(9): 70-72.
- [16] 孙建涛, 文习山, 王晓琪, 等. 绝缘在线监测中电容式电压互感器的误差校正[J]. *电力系统自动化*, 2008, 32(16): 61-65.
- SUN Jiantao, WEN Xishan, WANG Xiaoqi, et al. Error correction of capacitor voltage transformers for insulation on-line monitoring[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2008, 32(16): 61-65.
- [17] 徐家恒, 郑磊, 曲效武, 等. 电容式电压互感器现场误差测量的必要性分析[J]. *山东电力技术*, 2003(2): 6-9.
- XU Jiaheng, ZHENG Lei, QU Xiaowu, et al. The necessary in measurement for capacitor voltage transformers[J]. *Shandong Electric Power*, 2003(2): 6-9.
- [18] GHASSEMI F, GALE P F, CLEGG B, et al. Method to measure CVT transfer function[J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2002, 17(4): 915-920.
- [19] TZIOUVARAS D A, MCLAREN P, ALEXANDER G, et al. Mathematical models for current, voltage, and coupling capacitor voltage transformers[J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2000, 15(1): 62-72.

收稿日期: 2017-03-31; 修回日期: 2017-08-25

作者简介:

吴士普(1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 长期从事互感器技术、电力设备故障诊断技术、试验技术等研究工作; E-mail: wxwsp@163.com

吴细秀(1976—), 女, 通信作者, 博士, 副教授, 主要从事高电压绝缘、电磁暂态仿真方面的研究工作。E-mail: wuxixiu@163.com

(编辑 魏小丽)