

电容式电压互感器自激法的测试及误差分析

李涛, 杜晓平, 刘焕光

(山东临沂市供电公司, 山东 临沂 276003)

摘要: 对无中间抽压端子叠装式电容式电压互感器(CVT)分压电容及介损的测量方法进行了探讨, 介绍了用变频介损试验的方法及注意事项。对采用自激法进行测量的可行性和必要性进行分析, 指出影响自激法测量的主要因素, 总结了测量中的有关问题, 并就如何提高数据正确程度提出一些建议, 并根据现场实际情况进行误差校正分析。现场试验表明, 该改进的自激法可消除现场干扰, 所得数据完全满足试验要求。

关键词: 电容式电压互感器(CVT); 自激法; 误差分析; 分压电容; 介损

Discussion about self-excited method error on capacitive voltage transformer

LI Tao, DU Xiao-ping, LIU Huan-guang

(Linyi Power Supply Company of Shandong, Linyi 276003, China)

Abstract: Measuring partial-voltage capacitance and $\tan \delta$ value of superposition capacitive voltage transformer(CVT) by CVT self-excited method is discussed. This paper introduces how to perform test on CVT with the frequency-conversion bridge, and what we should pay attention to in the test. The feasibility and necessity of self-excitation measurement for superposition CVT are analyzed by experiment. Also, the main factors that affect self-excitation measurement are discussed. On this basis, some problems worth of attention are indicated concerning CVT operation, maintenance and test. Test data makes it clear that the improved self-excited method is adaptive to on-site test.

Key words: Capacitive Voltage Transformer (CVT); self-excited method; error analysis; partial-voltage capacitance; dielectric loss ($\tan \delta$)

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)05-0031-03

0 引言

电容式电压互感器(CVT)是山东电网使用比较广泛的一种电力设备, 由于防系统谐振的性能较好, 并且可以兼做系统通信用的载波电容, 在 110 kV 以上的系统中正在逐步替换原有的线路电磁式电压互感器, 成为系统中一种必不可少的设备。目前的电容式电压互感器(CVT)绝大多数为叠装式结构^[1]。由于现场试验时叠装式 CVT 的电容分压器和电磁单元不能分开, 给电容分压器的电容及介损测量造成了一定的困难, 现场测量时的问题较多。因此, 有必要对电容式电压互感器自激法试验方法的适用性和准确性进行探讨, 寻求既切实可行又简便的测量方法供广大试验人员使用, 本文将对这一问题进行探讨。

1 CVT 和变频介损仪的基本原理

1.1 CVT 基本结构及工作原理

电容式电压互感器(CVT)性能优良, 应用广泛。CVT 的原理结构见图 1, 电磁单元的中间变压器 T 的

中压连线(图中 B 点)分有、无引出线两大类。T 和补偿电抗器 L、阻尼电阻 Z 都组装在低压分压电容器 C₂ 下面的油箱内共同组成一基本电容分压器单元(虚线框); C₁ 为高压电容。

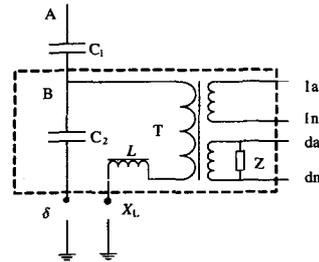


图 1 CVT 原理结构图

Fig.1 Circuit diagram of CVT

1.2 变频介损仪的原理及分类

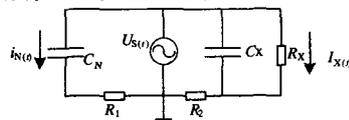


图 2 测量 G_x 时的原理图

Fig.2 Equivalent circuit of measuring C_x

基于电子及微处理器技术、变频抗干扰技术、数字滤波技术的变频介损仪施加一定频率的电压于试品和标准电容器上,比较二者电流的大小、相位来确定试品电容量和介损。

图2中, R_1 和 R_2 分别为数字介损电桥机内标准电容回路及被试品回路的采样电阻; C_N 为标准电容器的等值电容; R_x 和 C_x 分别为被试品的等值电阻和等效电容。将采样电阻的电压 $u_{R1(t)}$ 与 $u_{R2(t)}$ 的波形进行分析计算后,即可求得 $i_{N(t)}$ 与 $i_{X(t)}$ 的相位差 δ_x , 同时可以计算被试品的介损系数 $\tan \delta_x$ 及 $i_{X(t)}$ 的阻性 $i_{X(t)R}$ 和容性分量 $i_{X(t)C}$ 。

$$\text{由图2知: } i_{N(t)} = \frac{u_{R1(t)}}{R_1} \approx -j2\pi f C_N u_s(t) \quad (1)$$

$$i_{X(t)} = \frac{u_{R2(t)}}{R_2} \approx -j2\pi f C_x u_s(t) + \frac{u_s(t)}{R_x} = i_{X(t)C} + i_{X(t)R} \quad (2)$$

$$\text{由式(1),(2)可知: } m = \frac{i_{X(t)C}}{i_{N(t)}} \quad (3)$$

$$C_x = \frac{i_{X(t)C}}{i_{N(t)}} \cdot C_N = m \cdot C_N \quad (4)$$

式中: j 为复数因子,表示电流相位超前电压 90° ; f 为介损电桥的电源输出频率; m 为被试品电流的电容分量和标准电容回路电流的比例系数。

由图2所示的被试品等效电路可知其介质损耗系数: $\tan \delta_x = \frac{2\pi f C_x}{R_x} = \frac{2\pi f m C_N}{R_x}$

2 采用自激法测试

数字介损电桥已广泛应用,并对 CVT 高低压侧均有良好的限压限流特性,可有效避免传统模拟式介损电桥采用自激法可能引起的谐振现象。因此对于 C_2 和 C_1 连为一体,没有中间电压引出端子引出但有中间变压器相连的 CVT,规程推荐采用自激法分别测量 C_2 和 C_1 的电容量及其介损的方法是方便可靠的^[2]。根据实际情况对测量结果的误差进行校正,所得结果能比较真实地反映它们的实际介损和电容量,因此可准确判断 CVT 的好坏。自激法是以 CVT 的中间变压器作为试验变压器,从二次侧施加电压对其进行激磁,在一次侧感应出高压作为电源来测量 C_1 和 C_2 的电容及介损。

2.1 测量主电容 C_1 及 $\tan \delta_1$

2.1.1 自激法测量 C_1 及 $\tan \delta_1$ 基本原理

由于 B 点未引出,试验电压无法直接加到 B 点,故要用电磁单元升压。用可变频输出的变频介损仪自激法加压,正接法测量, A 点接信号端子,加于 C_1 上的电压(即 B 点电压 U_B)由 δ 端子引至标准电容的

高压端。自激法测 C_1 的接线图如图3所示。

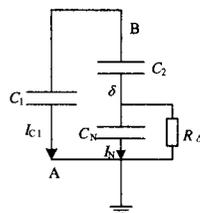


图3 测量 C_1 时的原理图

Fig.3 Equivalent circuit of measuring C_1

2.1.2 自激法测量 C_1 及 $\tan \delta_1$ 误差分析

由图3可见电容 C_2 及 δ 端子绝缘电阻 R_δ 大小将直接影响测量结果。

(1)向量图4(a)未计 C_2 及 δ 端子的影响,此时 I_N 与 I_{C1} 间夹角即为 C_1 介损角^[3]。

(2)向量图4(b)忽略 δ 端子的影响(取 δ 绝缘电阻无穷大),若 C_2 介损较小则:

$$C_{1P} \approx \frac{C_{1m} \cdot C_2}{(C_2 + C_N)}$$

$$\tan \delta_{C1P} \approx \tan \delta_{C1m} + \frac{\tan \delta_{C2} C_N}{(C_2 + C_N)}$$

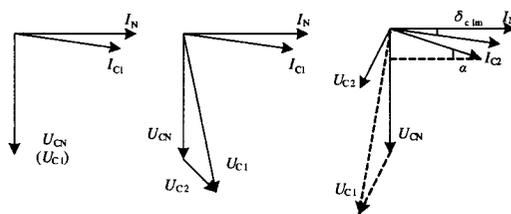
式中:下标 p、m 分别表示实际值、测量值。可见 C_2 使得 $C_{1P} < C_{1m}$, $\delta_{C1P} > \delta_{C1m}$, 仅当 $C_2 \gg C_N$ 时影响可略。

(3)向量图4(c)考虑 δ 端子影响而忽略 $\tan \delta_{C2}$, 此时

$$C_{1P} \approx \frac{C_{1m} \cdot C_2}{(C_2 + C_N \tan \alpha)}$$

$$\tan \delta_{C1P} \approx \tan \delta_{C1m} - \frac{1}{\omega R_\delta (C_2 + C_N)}$$

其中: $\tan \alpha$ 为流过 δ 的阻性电流与流过 C_N 的容性电流之比即 δ 绝缘不良使 C_1 电容、介损测量值偏大。由于 C_2 和 δ 端对地的泄漏电阻 R_δ 的存在 δ 端的电压相位将超前于试验电源相位,标准电容 C_N 的电流也将前移,从而使介损的测量结果增大其增大量为 $\frac{1}{\omega R_\delta (C_2 + C_N)}$ 。



(a)理想状态 (b)考虑 C_2 (c)考虑 R_δ

图4 考虑 C_2 , R_δ 向量图

Fig.4 Vector diagram considering C_2 and R_δ

2.2 测量分压电容 C_2 及 $\tan \delta_2$

2.2.1 自激法测量 C_2 及 $\tan \delta_2$ 基本原理

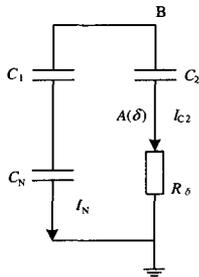


图5 测量 C_2 时的原理图
Fig.5 Equivalent circuit of measuring C_2

自激法测 C_2 的接线如图 5 所示。由图 5 可以看出, 试验电压通过电磁单元的中压变压器加在 B 端, 由于 C_1 与标准电容 C_N 串联, C_1 将影响 C_N 支路的电容的介损, 由于影响不大, 所以一般可忽略不计。与正接法测 C_2 一样, 电磁单元也将影响测量准确度。 C_2 的低电压端子通过一根引线连接到电磁单元出线板上的 δ 端子, 这根引线距补抗的调节绕组的引线及端子较近, 存在一定的分布电容, 测量时补抗调节绕组的引线及端子上的电位较高, 相当于一个干扰源通过分布电容对测量产生的影响。其结果将使测量值比实际值大。

2.3 自激法测量其它误差分析及注意事项

(1) 电磁单元中各部件上的电压相当于干扰源通过 δ 端及其引线的分布电容影响 δ 端的电压幅值和相位, 从而影响测量准确度。其结果将使测量值比实际值大^[4]。

(2) 在 CVT 中, $Z_L = 1/\omega(C_1 + C_2)$, 式中 Z_L 为补偿电抗器的电抗与中压变压器的漏抗之和^[5]。在测量 C_2 时, 由于 C_2 与补偿电抗器的电抗与中压变压器的漏抗串联, 且容抗 Z_{C2} 与感抗 Z_L 接近, 使二次侧所需施加的电压远低于直接按中压变压器变比计算出的电压。

因此测量的电压不能够加得太高。另外, CVT 的二次绕组的容量不大, 一般不超过 $200\text{ V} \cdot \text{A}$, 二次加电压的电压高, 相应的励磁电流会较大, 很容易引起过载而导致介损仪保护动作或者是测量的不准确。例如我们网区内常用的介损测试仪, 在使用明确规定在测量 CVT 介损的时候, 高压的电压值不允许超过 4 kV ; 低压的励磁电流不允许超过 30 A , 其原因就是因为担心电压过高而导致励磁电流过大而损坏试验仪器和设备。

(3) 在工作现场采用自激法测量 CVT 的时候, 往往采取部分停电的方式, 在 220 kV 的设备区中感应电可以达到 $500 \sim 1000\text{ V}$, 这种程度的感应电已经

达到可以干扰试验结果的程度, 试验的精度无法保证。

3 结论

通过以上分析可知, 应用自激法测量 CVT 的分压电容电容值及介损系数应对测试结果进行误差校正, 才能反映各节电容器的电容量及介损系数的真实情况。现场试验表明, 该改进的自激法可消除现场干扰, 所得数据完全满足试验要求。

参考文献

- [1] 饶强. 110-220 kV 电容式电压互感器测试方法的探讨[J]. 广西电力, 2006, (5).
RAO Qiang. Discussion about Measurement on 110-220kV Capacitive Potential Transformer[J]. Guangxi Electrical Engineering, 2006, (5).
- [2] 舒开旗, 叶利, 史萍. 电容式电压互感器的误差测试[J]. 湖北电力, 2003, (12).
SHU Kai-qi, YE Li, SHI Ping. Testing the Error of CVT[J]. Hubei Electrical Engineering, 2003, (12).
- [3] 黄涛, 刘艳, 李国伟. 变频介损仪在 CVT 不拆线试验中的应用[J]. 高电压技术, 2004, (7).
HUANG Tao, LIU Yan, LI Guo-wei. The Use of the Frequency-Conversion Bridge in Test of the Capacitor Voltage Transformer without Disconnecting the Wire[J]. High Voltage Engineering, 2004, (7).
- [4] 梁子孟, 谭彦民. CVT 电磁单元的介损测试分析[J]. 高电压技术, 2006, (8).
LIANG Zi-meng, TAN Yan-min. Tan δ Test and Analysis for CVT's EM Unit[J]. High Voltage Engineering, 2006, (8).
- [5] 金旭东, 荆克宇. 用自激法测量叠装式 CVT[J]. 江苏电机工程, 2005, (11).
JIN Xu-dong, JING Ke-yu. Self-excited Method for Superposition CVT [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2005, (11).

收稿日期: 2008-04-18; 修回日期: 2008-06-20

作者简介:

李涛(1977-), 男, 硕士, 研究方向为电力系统高压技术监督与设备维护; E-mail: litao4541@126.com

杜晓平(1978-), 女, 硕士, 研究方向为电力系统调度自动化;

刘焕光(1963-), 男, 高级技师, 研究方向为电力系统高压技术监督与设备维护。