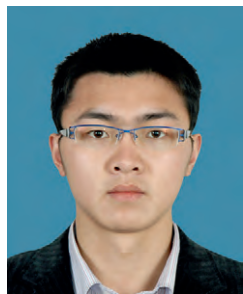


CVT介损测试误差分析

由于CVT结构特殊,在例行试验中,不同的接线方式会对结果造成不同影响。为分析CVT介损测试误差,建立了CVT介损测量等效电路,分析了不同状况下的误差向量图;针对一台退出运行的CVT,进行了正接法、自激法和高电压介损等试验,分析了不同接线方式下的误差向量图,发现在高电压介损测试时,随着电压升高,介损出现由正变负的拐点。

刘 君 刘玉龙 杨 帆 周 波 杨新春/国网成都供电公司



刘 君/工程师

电容式电压互感器 (Capacitor Voltage Transformers, CVT) 是由串联电容器组抽取电压,再经中间变压器变压作为表计、继电保护等电压源的电压互感器^[1-2]。由于CVT绝大多数为叠装式结构,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^[3-4]。目前针对CVT介损测试方法及误差分析的研究主要集中在现场常规测试中发现的问题及解决方法,还未见系统建立其等效电路图来全面分析不同接线方式下的误差来源及可能造成的不同结果。本文针对叠装式无中间抽压端子的CVT,建立其介损测量等效电路,分析了不同状况下的误差向量图,并针对一台退出运行的CVT,通过正接法、自激法和高电压介损等试验方法进行验证分析。

自激法测试

CVT是利用电容分压器将一次电压降低为几千至20 kV的中间电压,中间电压经中压变压器变换为所需的二次电压并实现一、二次回路间的电气隔离。型号为TYD110/ $\sqrt{3}-0.0066$ H的CVT电气

原理图如图1所示^[5]。

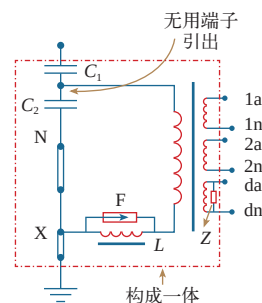
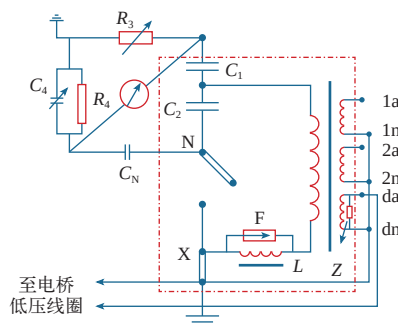
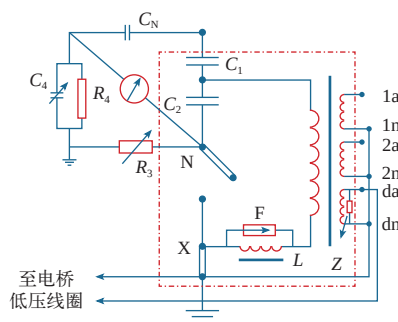


图1 CVT电气原理图

由于CVT的中压端子未引出,测量 C_1 、 C_2 的电容和介损只能采用自激法。其接线原理如图2所示。



(a) C_1 测量图



(b) C_2 测量图

图2 自激法测试原理图

自激法测试从辅助绕组dadn加压,一般dadn绕组容量最大,Z的存在可以避免谐振过电压^[1]。试验电压不宜超过保护

关键词/Keywords

电容式电压互感器 ·
介损 ·
电容量 ·
误差 ·

装置的击穿电压,可统一考虑选用2.5 kV。自激法的测试结果如表1所示。

表1 自激法测试结果

测试项目	C_1	C_2
电压/V	2 500	2 500
C/nF	9.643	20.89
$\tan\delta$ (%)	0.096	0.106

其总体介质损耗因数和电容量为

$$\tan\delta_{\text{总}} = \frac{C_1 \tan\delta_2 + C_2 \tan\delta_1}{C_1 + C_2} \quad (1)$$

$$C_{\text{总}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (2)$$

可以得出, $C_{\text{总}}$ 为6.598 nF, $\tan\delta_{\text{总}}$ 为0.099。与铭牌电容量的误差为-0.03%,具有较高的准确性。

串联法测试

1. 等效电路及向量分析

由于CVT无中间抽压端子,无法使用常规正接线、反接线方法分别准确测量 C_1 、 C_2 的电容值和介损值,因此,常采用测量 C_1 与 C_2 串联电容 C 、介损值 $\tan\delta$ 进行判断,该方法一般称之为串联法测试,其原理如图3所示。

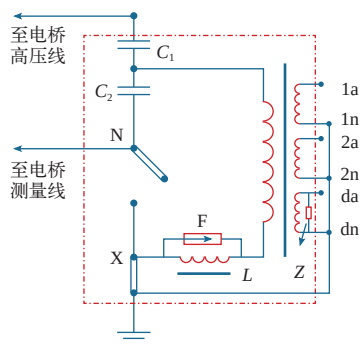


图3 串联法测试原理图

目前,串联法测试在现场的应用尤为广泛,但容易出现负介损,为分析其误差产生原因,建立CVT等效电路如图4所示。

图4中, I_T 、 C_T 和 R_T 分别为电磁单元高压对地及对二次侧的电流、等效串联电容和等效串联电阻; I_J 、 L_J 、 R_J 和 C_p 分别为电磁单元的激磁电流、激磁电感、等效电阻和尾端末屏对地电容; I_e 为

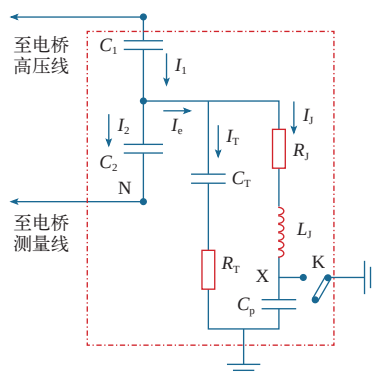


图4 串联法测试等效电路图

I_T 、 I_J 的向量和; K 模拟电磁单元尾端是否接地。

串联法测试时,电压取的是 C_1 、 C_2 串联后两端的电压,但由于电磁单元的存在,因此存在 I_e ,使得测试时取得的电流为流过 C_2 的电流,与 I_1 不一致。考察 I_e 的存在对测试结果的影响,如图5所示。假定 I_1 不变,不同相位及不同大小的 I_e 会造成 I_2 可能出现在1、2、3和4相限,但由于流过电磁单元的电流一般不会超过 I_1 ,即电磁单元的存在不会使得整个测试的CVT呈感性,即 I_2 不会出现在3、4相限,因此只讨论1、2相限的情况。图5中,在 I_e 幅值不变的情况下,有 θ 为临界角度,即测得的介损由正变负临界点。当电磁单元介损角 $0 < \chi < \delta$,所测得的 $\tan\delta$ 增大,如图5中的 δ_1' ;当 $\chi = \delta$ 时, $\tan\delta$ 不变,只影响电容值;当 $\delta < \chi < \delta + \theta$ 时, $\tan\delta$ 减小;当 $\chi = \delta + \theta$ 时, $\tan\delta = 0$;当 $\delta + \theta < \chi$ 时, $\tan\delta$ 变为负值,出现负介损,如图5中的 δ_3' 。当 I_e 的幅值变化时,在各角度下均存在介损由正变负

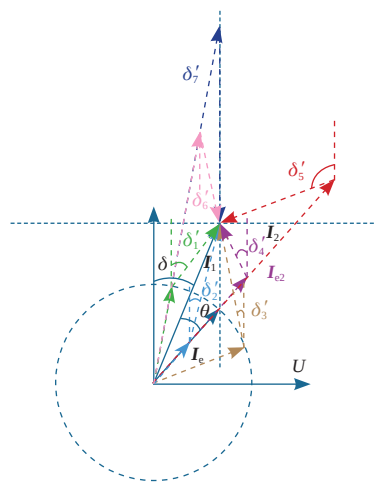


图5 电磁单元存在对测试结果影响向量图

的临界值,因此也可出现电容量及介损量变化的各种情况,其相限可能出现在1、2、3和4相限。

再考察 I_e 可能出现的情况,其组成向量图如图6所示。图6a为励磁电流不变时,由于 I_T 的变化,造成 I_e 的变化;图6b为电磁单元一次介损不变时,由于励磁电流 I_J 的变化,造成 I_e 的变化。由此可见,在理论上讲,两个变化量 I_T 、 I_J 共同作用下,使得 I_e 会出现图4中的情况。

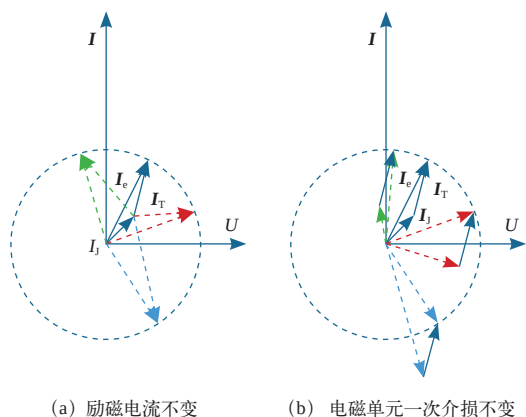


图6 误差电流 I_e 的组成及可能出现的情况向量图

2. 高电压介损试验

由于自激法及传统的介损测试方法施加的电压远远低于设备的实际运行电压,这种测试并不能够完全真实反映出设备在较高运行电压条件下介损的实际情况,有可能产生误判。国内尚没有对CVT进行高电压介损的相关研究文献,针对本例就CVT进行了尝试性的研究,测量不同电压下的 C_1 串 C_2 的介损及电容量。

由于CVT的N端子绝缘水平一般只有4 kV,为避免高电压介损测试过程中放电,对其X端子进行处理,即在其表面涂满玻璃胶,并自制一个小绝缘罩将其罩住,同时在N和X端子周围放置一环氧树脂小板。同样的,对二次端子的接线方式也进行了相应的研究,考察其对试验结果的影响, $\tan\delta$ 、电容量测试结果如图7、图8所示。

接线方式a,当X端悬空,一、二次绕组均不短接时,由于二次绕组在交变电场作用下,二次绕组呈现电感性,同时,由于励磁电流的影响,测量值落在第2相限,始终为负值,如图9所示。

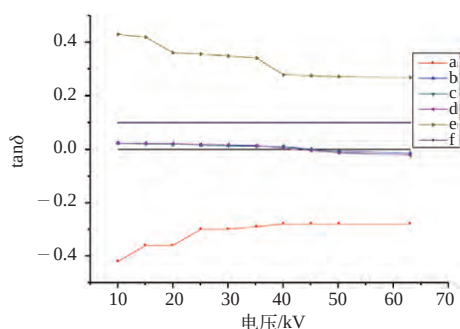


图7 不同接线方式、不同电压下CVT介损测试结果

- a—1a1n、2a2n和dadn悬空, C_x 接N端
b—1a1n、2a2n和dadn短路, C_x 接N端
c—dadn短路, C_x 接N端 d—1a1n、2a2n和dadn短路接地, C_x 接N端
e—1n、2n和dn短路接地, N端、X端短路接 C_x
f—基准值(以自激法测试值为基准值)

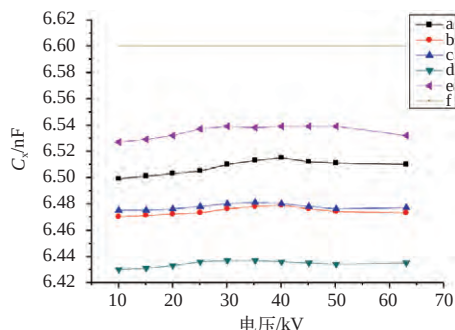


图8 不同接线方式、不同电压下CVT电容量测试结果

- a—1a1n、2a2n和dadn悬空, C_x 接N端, X悬空
b—1a1n、2a2n和dadn短路, C_x 接N端, X悬空
c—dadn短路, C_x 接N端, X悬空
d—1a1n、2a2n和dadn短路接地, C_x 接N端, X悬空
e—1n、2n和dn短路接地, N端、X端短路接 C_x f—铭牌值

减小, I_2 在纵轴方向与 I_1 相比减小了。不同电压下电容量平均值与铭牌电容量的误差为-1.395%。介损随着电压变化其误差变化趋势如图10所示, 10~25 kV误差变化较大, 后稳定于-4%左右。

接线方式b、方式c和方式d的情况如图10所示。

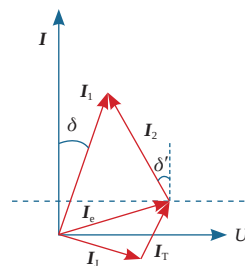


图9 接线方式a时CVT介损测试向量图

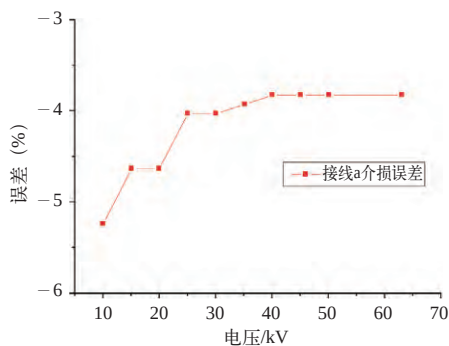


图10 接线方式a时CVT介损误差趋势

根据厂家建议，X端绝缘水平只能承受3 kV的电压，而根据自激法测试得到的电容量，可以计算分压比为

$$U_2/U_1 = C_1/(C_1 + C_2) = 0.3158 \quad (3)$$

从接线方式b、接线方式c和接线方式d可以看出，只要二次有绕组短路或短路接地，相对于二次绕组全部空开时，其介损向正方向偏移，即图2中的 I_e 角度向电流的纵轴方向偏移。但如果电磁单元一次绕组对二次绕组的介损角度仍大于临界点的 $\delta + \theta$ ，或其电流幅值超过临界点的幅值，这就是在现场经常遇到的短接二次绕组后，仍然测出负介损的向量原因。

这3种情况整体介损基本相同，变化趋势也一致，但是较在相同电压下自激法测得的整体介损偏小，主要是受一、二次绕组间的泄漏电流、处理后的X端泄漏电流的影响。3种情况基本都是在43 kV时出现由正值转向负值的拐点。根据分压比，此时一、二次绕组间承受的电压为

$$43 \text{ kV} \times 0.3158 = 13.58 \text{ kV} \quad (4)$$

在此电压下，一、二次绕组间的泄漏电流、处理后的X端泄漏电流增大则足以使整体介损成为负值，如图11所示。

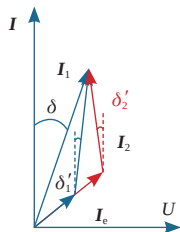


图11 测试电压增大时CVT介损测试向量图

同时，电容量测试值均较铭牌值偏小，说明

I_e 对电容量的影响是始终减小电容量。二次绕组全部短路并接地，不同电压下电容量平均值与铭牌电容量的误差为-2.509%，全部短路不接地误差为-1.906%，只短接一组dadn误差为-1.855%。接线方式b、接线方式c和接线方式d时介损随着电压变化其误差变化趋势如图12所示。误差均为负值，随电压增高误差逐渐增大，误差值在-1%左右。

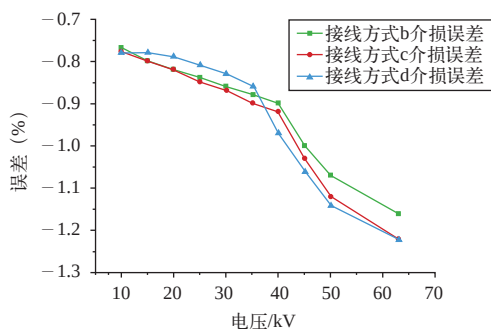


图12 接线方式b、接线方式c和接线方式d时CVT介损误差趋势

接线方式e：1n、2n和dn短路接地，N端、X端短路接 C_x ，其接线方式如图13所示。

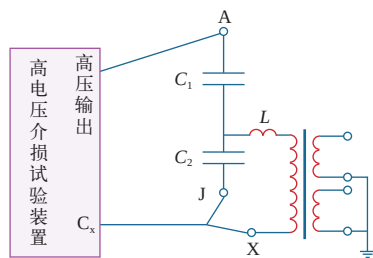


图13 接线方式e

这样的接线方式下测得是CVT整体介损及电容量。实际上测量的结果不仅是 C_1 、 C_2 串联的电容量，由于中间变压器的并入，测试结果加入了中间变压器高低压间的电容量。实际等效模型如图14所示。

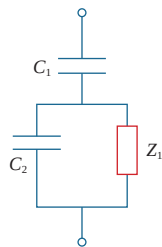


图14 接线方式e的等效原理

图14中, Z_1 是中间变压器等效阻抗。 Z_1 的加入, 介损量增大, 电容量较自激法减小, 不同电压下电容量平均值与铭牌电容量的误差为 -0.983% 。其向量图如图15所示。接线方式e时, 介损随着电压变化其误差变化趋势如图16所示, 误差均为正, 随电压增高, 误差逐渐减小。

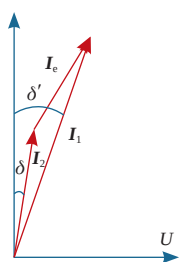


图15 接线方式e时向量分析

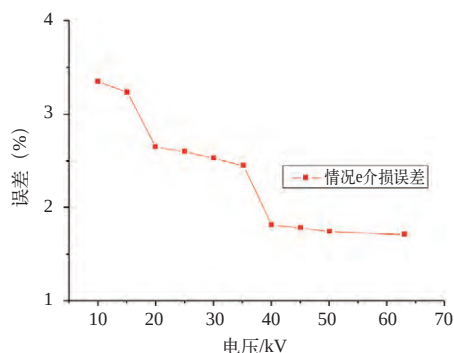


图16 接线方式e时的CVT介损误差趋势

结束语

自激法有较高的准确性, 在需要准确测量 C_1 、 C_2 电容量和介损时, 应优选自激法。

在进行现场常用的串联测试法时, 由于电磁单元的存在, 在理论上测试结果向量图可能出现

在1、2象限, 且存在临界角度以及不同角度下的临界值。通过端接二次绕组, 可以有效地使得介损由负向正方向偏移, 但如果偏移量不足以使得向量恢复到正值, 仍会存在负介损的测试结果。

高电压介损测试过程中, 受电磁单元影响, 当X端空开, 二次绕组短接时更接近考察 C_1 、 C_2 的绝缘状态, 但受限于二次端子及电磁单元的绝缘水平影响, 当电磁单元一次绕组电压达到13 kV时, 会造成负介损。

在实际应用中, 可采用自激法在较低的电压下测定电容和介损的准确值, 然后再采用较高电压作进一步检验; 采用串联法时, 电容和介损可分别用不同的接线方式来测定, 通过积累不同型号CVT在不同接线方式下的电容量和介损表现, 来增加诊断准确性。

参考文献

- [1] 陈化钢. 电力设备预防性试验方法及诊断技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [2] 林育锦. 电容式电压互感器介损现场测试方法浅析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2011, 32(4): 53-56.
- [3] 罗军川, 宋守龙. 电容式电压互感器绝缘介损测试方法研究[J]. 变压器, 2012, 49(6): 39-46.
- [4] 刘辉. 电容式电压互感器电容量和介损试验方法的探讨[J]. 变压器, 2009, 46(11): 44-47.
- [5] 黄冰. 高压介质损耗测量的研究[J]. 江苏电机工程, 2008, 27(5): 56-59.

(收稿日期: 2015-01-07) EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告