

一次试验引线分布电容对 CVT 误差特性的影响

梁 捷

(广西电网有限责任公司, 广西 南宁 530023)

摘要:电容式电压互感器(CVT)现场计量误差试验时,需在被试 CVT 与标准 CVT 一次侧上挂接试验引线,该引线 with CVT 外壳之间的夹角将耦合产生杂散分布电容并叠加到 CVT 自身的分压电容上,从而影响误差测量的准确度。通过对 CVT 结构和分布电容耦合特性的分析,建立了 CVT 与一次侧引线分布电容估计模型,最后结合案例分析了不同挂接角度对 CVT 比值试验误差的影响,并与现场试验结果进行对比,结果表明,一次侧引线 with CVT 的挂接夹角越小,等效分布电容值引入的误差越大。

关键词:CVT;现场误差试验;一次侧引线;分布电容

中图分类号:TM451.2 **文献标志码:**B **文章编号:**1001-9898(2021)02-0022-03

Influence of Primary Side Wiring Distributed Capacitance on CVT Error Characteristics

LIANG Jie

(Guangxi Electric Power Grid Co., Ltd., Nanning 530023, China)

Abstract: During the field measurement error test of capacitor voltage transformer (CVT), it is necessary to connect a test lead on the primary measurement of the tested CVT and the standard CVT. The angle between the lead and the CVT shell will couple to produce distributed stray capacitance, which will be superimposed on the CVT's own partial voltage capacitance, thus affecting the accuracy of error measurement. Based on the analysis of CVT structure and the coupling characteristics of distributed capacitance, an additional error estimation model caused by the change of primary lead with the change of coupling angle is established. The influence of different coupling angle on the CVT ratio test error is analyzed through a case, and compared with the field test results. The results show that the smaller the angle between the primary lead and CVT is, the larger the error of equivalent distributed capacitance is.

Key words: CVT; field error test; primary side wiring; distributed capacitance

随着中国南方电网有限责任公司计量自动化对电能计量数据“全采集,全覆盖,全费控”应用要求的不断深化,电容式电压互感器(Capacitor Voltage Transformer, CVT)作为电能量数据采集、瞬时电参量测量和继电保护的信号采样装置,其测量准确性受到日益关注。当 CVT 在谐波环境中工作时,其内部的分布电容与主电路中的电容和电感相互作用,可能在 CVT 二次回路计量时产生附加误差,从而导致电能表的计量走字发生变化^[1]。文献[2]对谐波环境下 TYD 35/3-0.02 HF 型带阻尼器 CVT 的谐波电压值分别相对基准值的误差进行仿真研究。文献[3]通过等效电路模型仿真,对杂散电容对 CVT 计量特性的影响做了

分析,指出分布电容对 CVT 误差传递特性有着重要影响。现有研究仅基于有限的 CVT 输入输出数据,分析分布电容前后 CVT 的误差变化,缺少误差传递模型的深入研究。以下对 220 kV CVT 误差试验接线模型中分布电容的产生和传递特性进行分析,建立 CVT 等值电路模型,分析误差试验时一次侧接线与被试 CVT 的夹角对分布电容的影响,并与实际试验数据进行对比,验证模型的有效性。

1 CVT 现场误差试验的原理分析

计量用 CVT 主要用于电能计量、电压测量和继电保护等领域的一次侧至二次侧的信号转换,其

收稿日期:2020-03-31

作者简介:梁 捷(1987-),男,工程师,主要从事电能计量管理方面工作。

结构见图1,主要包括分压电容、中压变压器、补偿电抗器和阻尼器等。

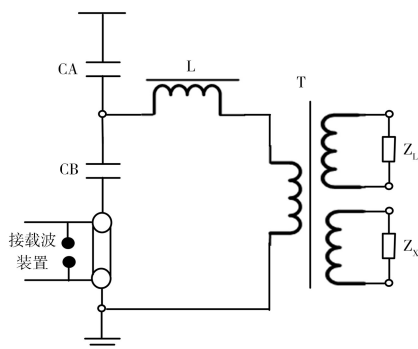


图1 计量用 CVT 典型结构

图1中,CA 和 CB 为用于试验分压的高压电容器和中压电容器;T 为中压电磁式变压器;L 为补偿电抗器; Z_x 为阻尼器; Z_L 为二次负载^[4]。

为确定 CVT 的误差,使其保持在允许的范围内,在发电厂、变电站等重要结算点安装的 CVT 需要进行误差试验,试验原理见图2。

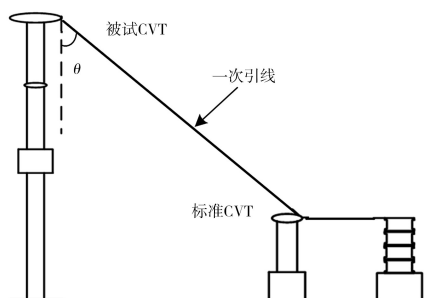


图2 CVT 现场误差试验接线示意

首先将被试和标准 CVT 一次侧并联,并施加同一额定试验电压,然后将它们的二次侧输出电压值进行比较,从而得到被试 CVT 相对于标准 CVT 的误差值。试验时标准和被试 CVT 之间通过一次侧试验导线相连。当一次侧引线和被试 CVT 之间的夹角 θ 较小时,两者之间形成的耦合分布电容将造成被试 CVT 的 CA 和 CB 的等效电容值 C_1 和 C_2 发生改变,从而使误差试验所得结果偏离实际值^[5]。不计分布电容的 CVT 分压比

$$K = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (1)$$

计及分布电容后的 CVT 分压电容值分别为 C'_1 和 C'_2 ,则此时的分压比

$$K' = \frac{C'_1}{C'_1 + C'_2} \quad (2)$$

则由一次侧引线挂接夹角导致的分布电容引入的误差为

$$\eta = \frac{K' - K}{K} = \frac{C'_1 C_2 - C_1 C'_2}{C_1 (C'_1 + C'_2)} \quad (3)$$

2 CVT 与一次侧引线分布电容估计模型

假设导线上存在电荷 Q ,根据 $C=Q/U$,由高斯通量理论推导出两导线之间的电势差 U ^[6],从而得到单位长度两平行导线之间的电容,其微分形式为

$$dC = C_0 dx = \frac{\pi \epsilon}{\ln \frac{p}{\sqrt{R_1 R_2}}} dx \quad (4)$$

被试 CVT 与一次侧试验导线之间分布电容的投影几何关系如图3所示。

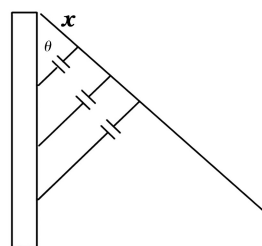


图3 CVT 与一次侧引线间分布电容的投影几何关系示意

图3中, θ 为被试 CVT 和一次侧引线间的夹角, x 为 CVT 在一次侧引线上的投影长度。令 p 为 CVT 本体与一次侧引线之间的垂直距离,则 $p = x \tan \theta$ 。

将 p 代入式(4),得到

$$dC = \frac{\pi \epsilon}{\ln \frac{x \tan \theta}{\sqrt{R_1 R_2}}} dx \quad (5)$$

式中: R_1 为 CVT 半径; R_2 为一次侧引线半径。

CVT 本体与一次侧引线之间的分布电容等于各个微分点的电容并联相加,则有

$$C = \int dC = \int \frac{\pi \epsilon}{\ln \frac{x \tan \theta}{\sqrt{R_1 R_2}}} dx \quad (6)$$

令 $\frac{\tan \theta}{\sqrt{R_1 R_2}} = k$,对式(6)进行化简,得

$$C = \pi \epsilon \int \frac{1}{\ln kx} dx \quad (7)$$

由于式(7)的积分原函数为非初等函数,无显性解析式,可采用 Taylor 级数进行近似表示。经推导^[7]可得

$$C(x, \theta) = \frac{\pi \epsilon}{k} (\ln |\ln kx| + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\ln kx)^n}{nn!}) \quad (8)$$

式(8)即为本文建立的 CVT 与一次侧引线分

布电容估计模型 $C(x, \theta)$, 表示一次侧引线与被试 CVT 的夹角为 θ , CVT 在一次侧引线上投影长度为 x 时存在的分布电容。CVT 的分压电容主要由 CA 和 CB 组成, 而 CA 和 CB 又由若干相同规格的组件电容串联而成。将被试 CVT 的 C_1 和 C_2 在一次侧引线上的投影代入式(8)可分别得到 CA 和 CB 与一次侧引线之间的分布电容 ΔC_1 、 ΔC_2 , 如式(9)、式(10)所示。

$$\Delta C_1 = C(a_1 \cos \theta, \theta) \quad (9)$$

$$\Delta C_2 = C(a \cos \theta, \theta) - C(a_1 \cos \theta, \theta) \quad (10)$$

式中: a 、 a_1 分别为 CVT 和 CA 的长度; θ 为 CVT 与一次侧引线的夹角。

以某 220 kV CVT 为例, 其长度为 3 m, CA 和 CB 长度均为 1.5 m, 被试 CVT 半径为 0.15 m, 一次侧引线的半径为 0.002 m。将以上参数代入式(9)、式(10)得到分布电容 ΔC_1 、 ΔC_2 与角度 θ 之间的关系, 见表 1。

表 1 分布电容与角度 θ 之间的关系

θ	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°
$\Delta C_1/\text{pF}$	0	2.3	4.6	7.0	9.2	11.5	14.1	17.2	22.4
$\Delta C_2/\text{pF}$	0	1.5	3	4.5	5.9	7.3	8.7	10.4	13.3

由表 1 可见, 一次侧引线与 CVT 的夹角越小, 分布电容值越大, 当夹角为 90° 时, 分布电容接近 0。

3 现场实际应用

分布电容对计量试验误差的影响主要是由于 CA 和 CB 与一次侧引线的分布电容对本身电容值的影响, 导致 CVT 及其回路的等效电容值改变, 从而引入测量误差。

3.1 分布电容引入的附加误差分析

以广西某 220 kV 变电站 I 段母线 V 相 CVT 为例, 其型号为 TYD₄-220/ $\sqrt{3}$ -0.01H, 由出厂试验报告查到其电容 $C_1=10\ 797\ \text{pF}$, $C_2=126\ 901\ \text{pF}$, 由式(1)得其常规分压比为 $K=0.078\ 411$ 。若现场误差试验时一次侧引线与 CVT 的夹角为 60°, 由表 1 得 CA 引入的分布电容为 7.0 pF, CB 引入的分布电容为 4.5 pF, 代入式(2)得 $K'=0.078\ 776$ 。

则一次侧引线与 CVT 本体的夹角为 60° 时引入的比值误差

$$\eta = \frac{K' - K}{K} \times 100\% = 0.06\% \quad (11)$$

一次侧引线与 CVT 夹角与所引入的附加比

值误差的关系如表 2 所示。

表 2 本文模型角度与附加比值误差之间的关系

θ	90°	80°	70°	60°	50°	45°	40°	30°	20°	10°
$\eta/\%$	0	0.02	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.14	0.18

由表 2 可见, CVT 试验一次侧引线与 CVT 夹角越大, 引入的测量误差越小。

3.2 现场实测误差分析

2020 年 1 月 5 日, 在广西某 220 kV 变电站开展 I 段母线 V 相 CVT 现场计量误差试验。其他试验因素不变时, 改变一次侧引线与被测 CVT 本体的夹角, 由 CVT 现场校验仪测得不同角度下 CVT 误差值见表 3。

表 3 现场案例角度与附加误差之间的关系

θ	90°	80°	70°	60°	50°	45°	40°	30°	20°	10°
$\eta/\%$	0.11	0.12	0.14	0.15	0.18	0.19	0.21	0.22	0.25	0.30

将表 2 和表 3 的数值绘制成曲线, 如图 4 所示。

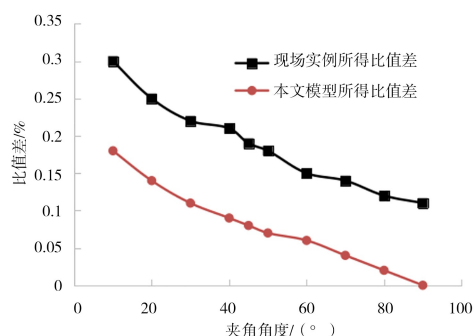


图 4 现场案例测试值与本文模型结果比较

由图 4 可知, 试验所得附加误差随一次侧引线与 CVT 本体间夹角的增大而减小, 且现场试验结果与本文模型的估计结果曲线的数值变化趋势一致, 2 条曲线各点比值差的差分值较稳定, 约为 0.10%。由本文模型的物理意义可知, 该值反映了不计及分布电容时该 CVT 的实际比值差。

4 结束语

a. 在 CVT 现场试验中, 一次侧引线与被试 CVT 之间存在的夹角将耦合出分布杂散电容, 导致 CVT 的分压电容值改变, 从而产生附加试验误差。建立了 CVT 与一次侧引线分布电容估计模型, 并以广西电网某 220 kV CVT 试验为例, 仿真分析了引线夹角与附加误差之间的关系, 并用现场实测数据进行了验证, 结果表明估计模型与现场实际测试情况相符。

b. 检定规程规定的 220 kV 计量用 CVT 的比值误差限为 $\pm 0.2\%$, 即该误差测量值(下转第 62 页)

细化要求不高,未针对过励磁保护高精度特点,制定专项保护校验方法,采用常规试验方法未能发现精度偏差问题。

b. 对保护装置长时间运行性能下降问题没有引起足够重视。此套保护装置自出厂至今已 10 a,期间也曾出过因发变组保护柜电源板损坏而导致装置闭锁的故障,经与设备厂家技术人员沟通,可能存在设备长期运行、元器件老化,装置可靠性下降问题。

4 防范措施

a. 对 1 号机组发变组保护 B 柜“过励磁反时限”保护相关模拟量通道进行检查、校验,结果显示装置线性良好,只需对过励磁保护动作偏差值进行定值修正,将过励磁保护定值由 1.08 倍、延时 43 s 修改为 1.12 倍(原定值 $1.08 + 0.04$ 偏差值)、延时 43 s,确保过励磁倍数与实际相符。同时,吸取事故教训,举一反三,开展隐患排查,立刻开展 1 号机组发变组保护 A 柜、2 号机组发变组保护 A、B 柜过励磁保护通道核查以及 1 号、2 号机组励磁调节器过励限制精度核查工作,同时将其列入定检项目,并细化所有保护相关模拟量、开关量、中间量、通道状态检查内容。

b. 由于 1 号机发变组 B 柜过励磁定时限保护出口方式为报警并减励磁,将定值适当放小在反时限低限前动作,作为过励磁保护报警,以便于运行人员及时发现调整。1 号发电机过励磁保护定时限定值由 1.25 倍、延时 4.5 s 修改为 1.11 倍、延时 0 s 减励磁并发信。

c. 对发电机过励磁保护、励磁调节器(AVR)过励限制、AVC 上限限制进行排查,过励磁保护过励限制低值 1.08 倍(频率 50 Hz 时对应机端电

压 21.6 kV)延时 43 s;励磁调节器(AVR)过励限制 1.05 倍(频率 50 Hz 时对应机端电压 21 kV)延时 50 s;AVC 上限限制:机端电压 ≥ 20.6 kV 或无功功率 ≥ 160 MVar 动作。动作顺序为:AVC 上限限制、励磁调节器(AVR)过励限制、发电机过励磁保护跳闸,见表 3。

表 3 1 号发电机过励时动作顺序

过励时动作	定值	延时
AVC 上限限制	机端电压 ≥ 20.6 kV 或无功功率 ≥ 160 MVar	
AVR 过励限制	1.05 倍	50 s
过励磁保护	1.08 倍	43 s

d. 联系厂家对发变组保护装置进行整体检查,对过励磁采集参数基准值进行修正,根据检查情况制定升级改造计划。

5 结束语

通过一起发变组过励磁保护误动的故障,分析得出过励磁反时限保护基准值偏差引起保护误动是机组跳闸的直接原因。为避免类似故障再次发生,检修人员对类似问题应引起高度重视,细化检修精度、遵守相关规程、规范以及反事故措施、加强标准化作业。同时,以上分析和研究可为防止日后同类型发变组保护误动故障提供技术和经验依据,具有一定的参考和实用价值。

参考文献:

- [1] 易晋松,徐日升.发变组过励磁保护误动作分析与处理[J].电工技术,2019(4):38-40.
- [2] 黄晓丹,侯典慧.浅析发变组保护与励磁调节器的配合整定原则[J].通讯世界,2017(7):144-145.
- [3] 邵富平,巩有峰,张艳军.微机发变组整套保护误动原因分析[J].河北电力技术,2006,25(5):3-4,16.

本文责任编辑:丁力

(上接第 24 页)

不超过 $\pm 0.2\%$ 的 CVT 才能符合现场应用需求。根据误差数据历史分布情况和现场经验,一次引线与 CVT 的夹角不小于 60° 时基本可将误差测量结果控制在误差限内。若在试验时发现误差数据接近或超出误差限时,可适当增大一次引线与 CVT 的夹角,以减小分布电容对试验结果的影响。

参考文献:

- [1] 梁捷.用于量值传递的互感器校验仪坐标变换模型研究[J].中国仪器仪表,2018,38(11):67-70.
- [2] 朱铁超,聂一雄,李哲,等.基于改进粒子群优化算法的

CVT 杂散电容参数估计方法[J].电力系统自动化,2020,44(4):178-186.

- [3] 谢伟伦,许家风,黄志威,等.杂散电容对电容式电压互感器测量误差的影响[J].宁夏电力,2018(3):9-13.
- [4] 黄燕珠.35 kV 电容式电压互感器故障原因分析[J].广西电力,2019,42(4):71-74.
- [5] 王尚鹏,王文玲,雷鸣,等.电压互感器试验用全自动工频谐振升压装置研究[J].仪表技术,2019(2):5-9.
- [6] 朱梦梦,何兆磊,陈勇,等.电容式电压互感器现场计量精度误差测试研究分析[J].云南电力技术,2017,45(5):156-158,163.
- [7] 庞天宇.分布电容对高频变压器特性影响的研究[D].天津:河北工业大学,2017.

本文责任编辑:齐胜涛