

# 电容式电压互感器负介损值现象分析与解决措施

李 辉, 姚龙泉

(泸州电业局修试所, 四川 泸州 646000)

**摘 要:** 电容式电压互感器在现场的介质损耗测试过程中, 由于方法不当, 介质损耗值往往出现负介损值, 不能得到正确的数据。针对现场测试过程中出现负介损值的原因和改进测量方法进行详细说明, 希望能够对现场试验人员选择正确的测量方法有所帮助。

**关键词:** 电磁单元; 介质损耗; 电容量

**Abstract:** During the measurement of dielectric loss of capacitor voltage transformers in the site because of the improper method the value of dielectric loss sometimes appears to be negative so it can not get the correct data. The causes why negative value of dielectric loss occurs during the field measurement and the improved measuring method are described in detail which is helpful for the testing personnel in the site to choose the correct measuring method.

**Key words:** electromagnetic unit; dielectric loss; capacitance

**中图分类号:** TM934.3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2010)03-0084-03

## 0 引 言

电容式电压互感器(以下简称 CVT)是作为电力系统测量、保护以及载波通信用设备, 由于其独特的性质而区别于电磁式电压互感器, 不易与系统构成铁磁谐振, 因此 CVT 整体介损的准确测量是保证电力系统安全、稳定运行非常重要的条件。

## 1 110 kV CVT 的结构原理

110 kV CVT 结构原理是由电磁单元和电容分压器两部分组成, 其中的电容分压器由高压电容  $C_1$  和分压电容  $C_2$  两部分构成, 电磁单元由中间变压器、谐振电抗器、阻尼器、接线端子箱组成。在电力系统中常常用到的 CVT 一般是叠装式, 无中间抽压端子, 因此, 在测量的过程中很难办到将电磁单元同电容分压器分开进行。

## 2 以往的测试方法

在对 CVT 电容分压器进行整体介质损耗测试时, 通常的方法是拆除电容分压器低压接地端 N 点, 在电容分压器低电压端接上测量线  $C_x$  从而在一次

加压进行测量, 测量出  $C_1$ 、 $C_2$  的整体介损和电容量值, 其测出的介损值往往是负值。本来测量  $C_1$ 、 $C_2$  的整体介损和电容量是反映没有电磁单元存在时, 流过  $C_1$ 、 $C_2$  电流  $\dot{I}_{C_1}$  的有功分量  $\dot{I}_{C_1} \cos \delta_1$  与无功分量  $\dot{I}_{C_1} \sin \delta_1$  的夹角  $\delta_1$  由于现在有了电磁单元的存在, 就存在有一电流  $\dot{I}_g$  通过它并对地构成回路, 实际上反映的是流过  $C_2$  电流  $\dot{I}_{C_2}$  的有功分量  $\dot{I}_{C_2} \cos \delta_2$  与无功分量  $\dot{I}_{C_2} \sin \delta_2$  的夹角  $\delta_2$ , 因此对测量结果造成了影响。

图 1 中包含了不同情况下电磁单元电流  $\dot{I}_g$  的影响,  $\dot{I}_g$  的大小与相位是由电磁单元的阻抗特性决定的, 如果  $\dot{I}_g$  落在了 1 象限区域, 根据电流与电压的相位关系可以知道, 此时的电磁单元呈容性; 如果  $\dot{I}_g$  落在了 4 象限区域, 此时的电磁单元呈感性。

在现场测试出来的介损值往往都是负值, 其原因是由于电磁单元高压绕组的末端串有谐振电抗器, 其感抗值近似等于电容分压器高、中压电容并联时 ( $C_1 + C_2$ ) 的容抗值, 而向厂家咨询后得知, 电磁单元一次侧对二次侧及地的电容量是小于 600 pF 的, 因此在测量介损值的时候, 电磁单元主要还是呈感性的。

当电磁单元呈感性的时候,  $\dot{I}_g$  的相位滞后  $\dot{I}_{C_2}$ ,  $\delta_1' < \delta_1$ ,  $\delta_2' < \delta_2$ , 即  $\tan \delta_1' < \tan \delta_1$ ,  $\tan \delta_2' < \tan \delta_2$ , 电磁单元的介损值为负值, 由于这种情况下  $\delta_1'$  与  $\delta_2'$  之间的角差最大,

测量出来的介损值远远小于真实值,甚至会出现负值,测量出来的介损值小于真实值;对纵坐标的分量大于对纵坐标的分量,所以实测电容量大于真实值。

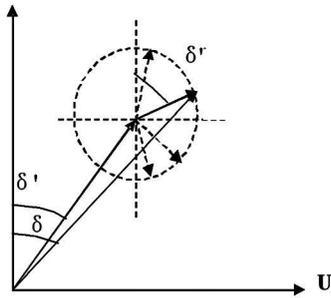


图 1 影响介损角分析图

### 3 问题分析

在以往的测试过程中,由于无中间抽压端子,对 CVT 整体介损的测试就不得不考虑电磁单元的影响了。如何不让电磁单元在测试过程中呈感性,如何减小电磁单元对整体介损的影响,是改进测量方法的重点。

由于电磁单元中的交变磁场在二次侧感应电势  $E = 4.44 f N \Phi_m$ , 二次侧的感应电动势反过来又对一次侧产生影响,因此造成了在 A 点电压的大小与相位是变化的, N 点测量出来的电流的相位与大小也是变化的;同时如果短接二次侧绕组,电磁单元中有功电流会大大降低,这样电磁单元高压绕组对低压绕组及地呈现容性,流向电磁单元的电流仅为很小的耦合电容电流。

### 4 改进后的测量方法

根据以上分析,在充分进行测试实验、验证基础上,由此得出如下的测试方法。图 2 为测量示意图。

在对 CVT 进行介损测试时,拆除电磁单元高压绕组尾端的接地点 E 并悬空(如果 CVT 是日新电机出厂的 WV L 或 WV B 系列产品时,拆除包括二次接线端子盒里面的避雷器在内;对于型号是 TYD 系列的产品,由于避雷器设置在内部,所以不需要进行拆除),并短接二次所有绕组(不接地),在一次加压,电容分压器低电压端接上测量线  $C_x$  进行测量。

流向电磁单元的电流记为  $I_g$ , 此时的电磁单元呈现容性,以  $C_m$ 、 $I_m$  表示电磁单元一次侧尾端对地

电容、电流;以  $C_m$ 、 $I_m$  表示电磁单元高压绕组对低压绕组的等效电容、电流。

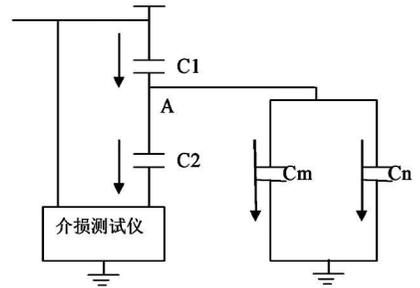


图 2 测量示意图

在脱开 E 点并悬空、短接二次所有绕组后,流向电磁单元的电流大小已经很小了,此时电磁单元的介损值是很小的。

当电磁单元呈容性的时候:

当  $I_g$  的相位超前  $I_{C_2}$  时,  $\delta' > \delta$   $\delta' > \delta''$ , 即  $\text{tg} \delta' > \text{tg} \delta$   $\text{tg} \delta' > \text{tg} \delta''$ , 电磁单元的介损小于  $C_1$ 、 $C_2$  的整体介损值,那么就会出现测量出来的介损值大于真实值;同时由于  $I_{C_2}$  对纵坐标的分量小于  $I_{C_1}$  对纵坐标的分量,所以实测电容量小于真实值。

从上述的分析可以知道,此时电磁单元在很大程度上呈现容性,同时由于  $I_g$  的大小很小,因此  $\delta \approx \delta'$  即  $\text{tg} \delta = \text{tg} \delta'$  流向电磁单元的电流  $I_g$  对测量结果的影响已经很小了,测量出来的介损值更加接近真实值。虽然电磁单元存在一次绕组对二次绕组及地的电容,但电容值小于 600 pF,在电容量测量上影响不大。

根据现场的测试结果,对上述两种测试方法的结果进行比较,以泸州电业局 220 kV 震东变电站 110 kV 的线路 CVT 现场的测试为例,其测试结果见表 1。

表 1 震东变电站 CVT 现场的测试结果

型号: TYD <sub>2</sub> 110 $\sqrt{3}$ -0.01H, 额定电容: 10 nF					
使用仪器	E 点	二次绕组	$\text{tg} \delta / \%$	$C_x$ (nF)	
山东泛华 AI-6000(C)	接地	不短接	-0.458	10.26	
山东泛华 AI-6000(C)	悬空	短接	0.029	9.86	
上海思源 M-2000	接地	不短接	-0.374	10.21	
上海思源 M-2000	悬空	短接	0.027	9.88	

注:根据标准的规定, CVT 介损值不大于 0.5%, 电容量偏差不得超过 -5% ~ 10%

根据上述测试结果的比较,电容量都在合格范围内,但明显看出以往的测试方法不能准确得出介损值;采用改进方法后,介损值更加贴近真实值,能较好地反映 CVT 的绝缘性能。

表 2 走马 CVY 现场测试结果

型号: WVLL110 $\sqrt{3}$ -10H, 额定电容: 10 nF				
使用仪器	E 点	二次绕组	$\lg\delta/\%$	$C_x$ (nF)
山东泛华 AI-6000(C)	接地	不短接	-0.327	10.18
山东泛华 AI-6000(C)	悬空	短接	0.047	9.95
上海思源 M-2000	接地	不短接	-0.227	10.16
上海思源 M-2000	悬空	短接	0.045	9.96

根据标准的规定, CVT 介损值不大于 0.5%, 电容量偏差  
不超过 -5% ~ 10%

## 5 结 语

前面主要针对 110 kV CVT 中电容分压器整体介损值的测量, 而对于由两节组成的 220 kV 的 CVT, 上节的耦合电容采用正接线进行测量, 下节的测量方法

(上接第 70 页)

总结了感应电动机的参数对小干扰电压稳定性的影响。得出了当感应电动机的机械功率为恒定转矩时才是 PV 曲线的最大功率点, 并且恒定转矩的比例  $\alpha$  越大, 与机械特性有关的指数  $b$  越小越不利于电压的稳定; 感应电动机定子绕组的电阻  $r_1$ 、定子绕组的漏抗  $x_1$ 、转子绕组漏抗  $x_2$ 、励磁电抗  $x_m$  越大, 感应电动机转子绕组的电阻  $r_2$  越小越不利于电压的稳定。因此, 在实际系统的综合负荷中  $r_1$ 、 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_m$  较大,  $r_2$  较小的感应电动机更易出现电压失稳。

## 参考文献

[1] 辛耀中. 2006 年国际大电网会议系列报 (二) 电力系统运行与控制技术新进展 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30(22): 1-6

[2] Xiaoqing Han, Nannan Tian, Zhijing Zheng. Small Signal Stability Analysis on Power System Considering Load Characteristics [C]. Power and Energy Engineering Conference Asia-Pacific 2009: 1-4

[3] Voumas C D, Sauer P W, Pai M A. Relationships between Voltage and Angle Stability of Power Systems [J]. International Journal of Electrical Power and Energy System, 1996, 493-500

[4] Prabha Kundur. Power System Stability and Control (电力系统稳定与控制) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002

[5] John A Diaz de Leon, Carson W Taylor. Understanding and Solving Short-term Voltage Stability Problem [C]. Proceedings of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting Chicago USA, 2002, 745-752

[6] 郭琼, 李晨辉. 计及电动机动态的电压稳定问题仿真分

析 [J]. 继电器, 2005, 33(5): 12-14

[7] 孙华东, 周孝信, 李若梅. 感应电动机负荷参数对电力系统暂态电压稳定性的影响 [J]. 电网技术, 2005, 29(23): 1-6

[8] Venkataramana A Jiarapu. A study of Dynamic Aspects Related to Voltage Collapse in Power Systems [C]. Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control 1989, 351-352

[9] Wen Binwei, Li Gang, Chen Chen. Object Oriented Modeling Method for Power System Small Signal Stability Analysis [J]. Power System Technology, 2000, 24(10): 15-18

[10] Kundur Prabhaskar, Rogers Graham J, Wong David Y. A Comprehensive Computer Program for Small Signal Stability Analysis of Power Systems [J]. IEEE Trans on Power Systems 1990, 5(11): 1076-1083

[11] 余贻鑫, 王成山. 电力系统稳定性的理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1999

[12] 章健. 电力系统负荷模型与辨识 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007

[13] Carson W Taylor. Power System Voltage Stability (电力系统电压稳定) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002

## 参考文献

[1] 四川省电力公司行业标准. 电力设备预防性试验规程 [S]

[2] 何伟. 电容式电压互感器介质损耗角正切值的测量, 西北电力技术 [J]. 2003, 31(5): 31-32, 35

[3] 李建明, 朱康. 高压电气设备试验方法 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001 (收稿日期: 2010-01-26)

析 [J]. 继电器, 2005, 33(5): 12-14

[7] 孙华东, 周孝信, 李若梅. 感应电动机负荷参数对电力系统暂态电压稳定性的影响 [J]. 电网技术, 2005, 29(23): 1-6

[8] Venkataramana A Jiarapu. A study of Dynamic Aspects Related to Voltage Collapse in Power Systems [C]. Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control 1989, 351-352

[9] Wen Binwei, Li Gang, Chen Chen. Object Oriented Modeling Method for Power System Small Signal Stability Analysis [J]. Power System Technology, 2000, 24(10): 15-18

[10] Kundur Prabhaskar, Rogers Graham J, Wong David Y. A Comprehensive Computer Program for Small Signal Stability Analysis of Power Systems [J]. IEEE Trans on Power Systems 1990, 5(11): 1076-1083

[11] 余贻鑫, 王成山. 电力系统稳定性的理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1999

[12] 章健. 电力系统负荷模型与辨识 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007

[13] Carson W Taylor. Power System Voltage Stability (电力系统电压稳定) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002

## 作者简介:

李林 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统及其自动化方面的研究。

康积涛 (1962-), 男, 教授, 博士, 主要从事电力调度自动化系统, 电力系统无功优化计算、电压稳定性、工业测控的研究工作。

张学群 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统及其自动化方面的研究。

刘永江 (1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统及其自动化方面的研究。 (收稿日期: 2010-01-14)