

# 测量 LCWD2-110 型互感器和电容式套管介损时出现负值原因的分析

覃汉敏

(广东省广电集团有限公司肇庆高要供电分公司, 广东 高要 526100)

## Why Do Negative Readings Appear When Measuring the Dielectric Loss of the Potential Transformer and the Capacitive Bushing

QIN Han-min

(Zhaoqing Gaoyao Power Supply Branch, Guangdong Guang-dian Power Grid Group Co., Ltd., Gaoyao 526100, China)

**摘要:** 介绍了小电容试品——互感器和电容式套管介质损耗测量时, 出现偏小有时甚至负值的原因和现场测量结果。建议在现场进行这类试品的介质损耗测量时, 必须注意将电桥或介损仪的接地点与被试品接地法兰或底座相连接。

**关键词:** 互感器; 电容式套管; 介质损耗; 误差

**中图分类号:** TM835.4

**文献标识码:** B

**Abstract:** The readings of meter show smaller than usual, even negative sometimes, when measuring on-site the dielectric loss of small capacitive objects such as potential transformer and capacitive bushing. This paper gives the reasons and the solutions. It is suggested that when making field measurement of the dielectric loss of such objects, the instrument be connected to the flange or the base of the object to be earthed.

**Key words:** potential transformer; capacitive bushing; dielectric loss; error

测量 LCWD2-110(或 LCWD2-35)型互感器的介质损耗因数  $\tan \delta$  时, 正确的方法是用电桥或介损仪按正接线方式进行, 即互感器的一次加高压, 其二次连接在一起接电桥或介损仪的  $C_X$  端, 互感器的底座接地。若测量时电桥或介损仪的接地端不与互感器的底座相连, 而是就近接于接地引下线上, 则当互感器底座与介损仪接地端间有较大的接触电阻时, 就会出现数值偏小的测量结果, 有时甚至会出现负介损测量值。我局曾对一组 LCWD2-110 型互感器做介损试验。在无电场干扰、表面状况清洁干燥的情况下竟出现表 1 所示的试验结果。经检查, 原因就是由于介损仪的接地端与试品接地点间有较大的接触电阻。当接地良好后 (即将介损仪的接地端和互感器的底座相

表 1 LCWD2-110 型互感器的  $\tan \delta$  测量值

相别	$C_X/\mu\text{F}$	$\tan \delta/\%$	上次试验值		试验条件
			$C_X/\mu\text{F}$	$\tan \delta/\%$	
A	71	-4.2	70.0	0.9	温度: 28℃ 相对湿度: 61%
B	63	-3.7	61.8	0.7	
C	61	-3.5	60.2	0.5	

连), 即测得了正确的试验结果, 对此分析如下。

用电桥测量互感器介损时, 接地不良情况的示意图见图 1。

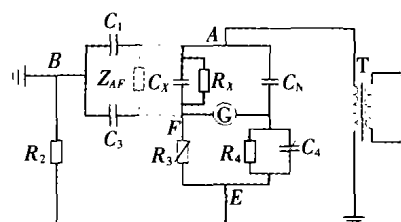


图 1 测量介损时电桥接地不良情况的示意图

图 1 中:  $C_N$  为标准电容;  $R_3, R_4, C_4$  表示  $Q_5$  电桥的桥臂参数;  $C_X, R_X$  表示被试互感器的等值电容和电阻。当电桥接地不良时, 接地点  $B$  与电桥  $E$  点间存在接触电阻  $R_2$ 。设互感器的法兰与测量屏间的电容为  $C_3$ , 试品对地的分布电容可近似视为一集中电容  $C_1$ , 则在将由  $C_1, C_3, R_2$  组成的星形阻抗转换为三角形阻抗后, 与试品  $C_X, R_X$  并联的等值阻抗  $Z_{AF}$  可用下式表示<sup>[1]</sup>:

$$Z_{AF} = Z_{AB} + Z_{BF} + (Z_{AB} Z_{BF}) / Z_{BE}$$

考虑到  $|Z_{BE}| \ll |Z_{AB}|$ ;  $|Z_{BE}| \ll |Z_{BF}|$ , 上式可简化为:

$$Z_{AF} = Z_{AB} \cdot Z_{BF} / Z_{BE}$$

$$\text{即: } Z_{AF} = \frac{1}{j\omega C_1} \cdot \frac{1}{j\omega C_3} / R_2 = -1/(\omega^2 C_1 C_3 R_2)$$

$$\text{或: } Y_{AF} = 1/Z_{AF} = -\omega^2 C_1 C_3 R_2$$

$$\text{试品导纳 } Y_X \text{ 可表示为: } Y_X = R_X + j\omega C_X$$

由于  $Z_{AF}(Y_{AF})$  与  $Y_X$  并联, 因 (下转第 147 页)

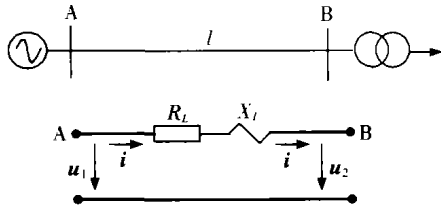


图 3 输电线路的简化等值电路模型

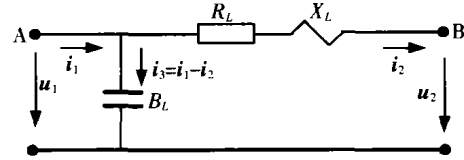


图 4 输电线路的等值电路

由于 A、B 两地相距较远,输电线路需按二端口网络来考虑,并在 A、B 两地分别同时测量同一时间段内的两个端口的信号能量。所谓同时,并非时间上严格同步,但 A、B 两地测量起止时间的偏差应控制在尽可能小的范围内,并且不超过测量时间的千分之一。如测量积分时间为 1h,则时间差可控制在 3s 之内。

设 A 地通过对信号  $u_1$  和  $i$  的测量得到 A 端能量分别为  $E_{P1}$ 、 $E_{Q1}$  和  $E_I$ ; B 地通过对信号  $u_2$  和  $i$  的测量得到 B 端能量分别为  $E_{P2}$  和  $E_{Q2}$ ,则输电线路上的有功、无功能量分别为:

$$E_P = E_{P1} - E_{P2}; E_Q = E_{Q1} - E_{Q2}$$

输电线路等值电阻、电抗分别为:

$$R_L = \frac{E_P}{E_I}; X_L = \frac{E_Q}{E_I}$$

上述测量方案中,没有考虑输电线路对大地的分布电容。考虑分布电容后的输电线路等值电路见图 4。

对于图 4 的等值模型,首先通过波形记录仪在 A、B 两地同时记录端口电压和电流波形的实时数据,然后利用计算程序分别计算出相应的能量:①由端口 A 的电压  $u_1$  按式(4)计算  $E_{I1}$ ;②由端口 B 的电流  $i_2$

按式(3)计算  $E_{I2}$ ;③由端口 A 的电压  $u_1$  和电流  $i_1$  按式(1)和式(2)分别计算  $E_{P1}$  和  $E_{Q1}$ ;④由端口 B 的电压  $u_2$  和电流  $i_2$  计算  $E_{P2}$  和  $E_{Q2}$ ;⑤由电压  $u_1$  和电流  $i_3$  计算  $E_{Q3}$ 。于是,输电线路的等值阻抗计算如下:

$$R_L = \frac{E_{P1} - E_{P2}}{E_{I2}}; X_L = \frac{E_{Q1} - E_{Q2}}{E_{I2}}; B_L = \frac{E_{Q3}}{E_{I1}}$$

## 6 结论

将电力设备等值为一端口或二端口电网络,用电力分析仪可以在线测量端口信号的能量,并计算出等值阻抗参数。这种在线测量方法抗干扰能力强、测量简便实用,适用于电力设备等值阻抗的工程测量。

## 参考文献:

- [1] 李颂伦. 电气测试技术 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1992.
- [2] 徐大可, 汲胜昌, 李彦明. 变压器绕组变形在线检测的理论研究. 高电压技术, 2000, 26(3): 16-18.
- [3] Tong Xiangqian, Luo Xianjue. In-system Measurement of Electric Element Lumped Parameter Impedance [A]. Proceedings of ICEMI[C], Taiyuan, China, 2003.

作者简介:伍松乐(1965-),男,讲师,主要从事电子技术及应用的的教学与研究工作。

(上接第 144 页) 此,考虑到  $R_2$  的影响时,互感器的等值导纳  $Y_X'$  为:

$$Y_X' = Y_X + Y_{AF} = (R_X - \omega^2 C_1 C_3 R_2) + j\omega C_X$$

即其导纳实部由  $R_X$  变为  $R_X - \omega^2 C_1 C_3 R_2$

而此时试品的介损:

$$\tan \delta' = (R_X - \omega^2 C_1 C_3 R_2) / \omega C_X = \tan \delta - \omega C_1 C_3 R_2 / C_X$$

由此可见,由于  $R_2$  的存在,将使试品的介损测量值偏小。如果试品本身的介损值较小,而  $R_2$  的数值又较大,则将出现负介损的测量结果。

上述分析也适用于一般变压器高压套管一次对末屏的介损测量。测量时套管接高压,而末屏接电桥或介损仪  $C_X$ , 套管法兰应与变压器接地线牢固连接。此时,若电桥或介损仪也是就近与接地引下线相连,且此线与套管法兰接地端之间有接触电阻时,也会出现偏小的测量值,甚至负介损测量值。现场测量和计算的比较如下:

计算时  $C_3 = 50 \text{ pF}$ ,  $R_2 = 1600 \Omega$  (用数字万用表测得),测量和计算的结果列于表 2 中。

应该指出,表 2 中计算值  $\tan \delta$  是按数字万用表在很低的直流电压下测得的  $R_2$  值计算的;而电桥的

表 2 介损值的测量和计算结果的比较

相别	$C_i / \text{pF}$	$\tan \delta / \%$			$C_i / \text{pF}$
		计算值	测量值	接地良好时的值	
A	1770	-2.34	-2.18	0.3	202
B	1740	2.28	-2.08	0.4	204
C	1690	-2.20	-2.06	0.3	206

注:试验条件为温度 24℃,相对湿度 52%

测量值  $\tan \delta$  是在交流试验电压下的测量结果,一般情况下二者是不同的。

因此,现场进行小电容试品——电容式套管、互感器的介损测量时,必须注意使测量仪器的接地端与试品的接地法兰或底座相连,以避免测量值偏小的情况。

## 参考文献:

- [1] 刘耀南, 邱昌容. 电气绝缘测试技术 [J]. 北京: 机械工业出版社, 1981.

作者简介:章汉敏(1970-),男,广东高要人,工程师,从事输变电技术及运行管理工作。