

两种变压器绕组等值电容模型的联系

李 林

(国网德阳供电公司 ,四川 德阳 618000)

摘 要: 介绍了两种变压器绕组等值电容模型,从数学角度阐述了两模型的联系,从而得出两者的一致性。

关键词: 变压器; 绕组变形; 等值电容

Abstract: Two kinds of equivalent capacitance models of transformer winding are introduced. The connection between two kinds of models is described in mathematical perspective and the consistency is concluded between the two models.

Key words: transformer; winding deformation; equivalent capacitance

中图分类号: TM406 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2014)06-0029-03

0 引 言

目前电容量法已作为诊断变压器绕组变形的重要项目之一。在现场试验时,变压器绕组的电容值同变压器绕组的绝缘介质损耗因素一起测量出来,与历史数据进行对比。国家电网公司制定的《输变电设备状态检修试验规程》中明确规定,若电容值发生明显变化,应予以注意。因此,对电容值发生明显变化的绕组做出正确的诊断分析具有重要意义。

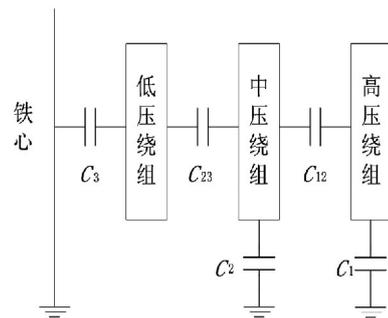
在现有的文献中以及大多变压器出厂试验数据中,三绕组变压器等值电容电路都忽略了高压绕组与低压绕组间的电容,通过5次接线测得的结果可以计算出5个电容值;而在现场试验中都计及高压绕组与低压绕组间的电容,通过6次接线测得的结果计算出6个电容值。采用矩阵理论对这两种方式进行了阐述,并找出两者之间的联系,从而得出两者的一致性。

1 变压器绕组等值电容模型

1.1 模型1: 忽略高压绕组与低压绕组间电容

忽略高压绕组与低压绕组间电容后,三绕组变压器绕组等值电容电路图如图1所示。

由于高压绕组与低压绕组间的电容 C_{13} 数值较小,被忽略。通过高对中、低及地 C_{H-ML} , 中对高、低及地 C_{M-HL} , 低对高、中及地 C_{L-HM} , 高、中、低对地



C_1 、 C_2 、 C_3 为高、中、低压绕组对地电容; C_{12} 为高压绕组与中压绕组间电容; C_{23} 为中压绕组与低压绕组间电容

图1 模型1中三绕组变压器等值电容电路图

C_{HML} , 高、中对低及地 C_{HM-L} , 共5组数据。通过下列方程可以计算得到 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_{12} 和 C_{23} 。

$$\begin{cases} C_{H-ML} = C_1 + C_{12} \\ C_{M-HL} = C_2 + C_{12} + C_{23} \\ C_{L-HM} = C_3 + C_{23} \\ C_{HML} = C_1 + C_2 + C_3 \\ C_{HM-L} = C_1 + C_2 + C_{23} \end{cases} \quad (1)$$

写成矩阵形式为

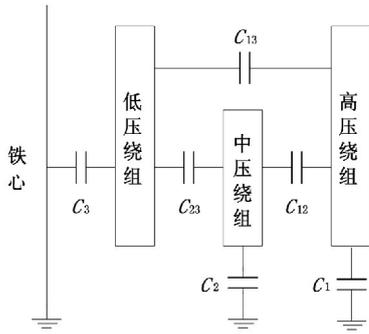
$$AX = P \quad (2)$$

其中

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_{12} \\ C_{23} \end{bmatrix} \quad P = \begin{bmatrix} C_{H-ML} \\ C_{M-HL} \\ C_{L-HM} \\ C_{HML} \\ C_{HM-L} \end{bmatrix} \quad (3)$$

1.2 模型2: 计及高压绕组与低压绕组间电容

计及高压绕组与低压绕组间电容后,三绕组变压器绕组等值电容电路图如图2所示。



C_1, C_2, C_3 为高、中、低压绕组对地电容; C_{12} 为高压绕组与中压绕组间电容; C_{23} 为中压绕组与低压绕组间电容; C_{13} 为高压绕组与低压绕组间电容

图2 模型2中三绕组变压器等值电容电路图

通过6次不同的接线就可以得到6组不同的数据,分别是高对中、低及地 C_{H-ML} , 中对高、低及地 C_{M-HL} , 低对高、中及地 C_{L-HM} , 高、中、低对地 C_{HML} , 高、中对低及地 C_{HM-L} , 中、低对高及地 C_{ML-H} 。通过解下列方程可以得到 $C_1, C_2, C_3, C_{12}, C_{23}$ 和 C_{13} 。

$$\begin{cases} C_{H-ML} = C_1 + C_{12} + C_{13} \\ C_{M-HL} = C_2 + C_{12} + C_{23} \\ C_{L-HM} = C_3 + C_{23} + C_{13} \\ C_{HML} = C_1 + C_2 + C_3 \\ C_{HM-L} = C_1 + C_2 + C_{23} + C_{13} \\ C_{ML-H} = C_3 + C_2 + C_{12} + C_{13} \end{cases} \quad (4)$$

写成矩阵形式为

$$BY = Q \quad (5)$$

其中

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_{12} \\ C_{23} \\ C_{13} \end{bmatrix} \quad Q = \begin{bmatrix} C_{H-ML} \\ C_{M-HL} \\ C_{L-HM} \\ C_{HML} \\ C_{HM-L} \\ C_{ML-H} \end{bmatrix} \quad (6)$$

需要说明的是式(6)矩阵Y中的元素与式(3)矩阵X中的元素不相等。

2 两种等值电容模型的联系

把式(5)中矩阵B、Y、Q进行分块, 于是有

$$\begin{bmatrix} A & K \\ L & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P \\ M \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中

$$K = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_{12} \\ C_{23} \end{bmatrix} \quad R = [C_{13}] \quad M = [C_{HM-L}] \quad (8)$$

根据分块矩阵的乘法, 于是有

$$AT + KR = P \quad (9)$$

把式(2)代入式(9), 可以得到

$$T = X - A^{-1}(KR) \quad (10)$$

式中 $A^{-1}(KR)$ 为一常数, 计算出其值为

$$A^{-1}(KR) = C_{13} [1 \quad -1 \quad 0 \quad 0 \quad 1]^T \quad (11)$$

从式(10)相应的可以得到

$$\Delta T = \Delta X - A^{-1}(K\Delta R) \quad (12)$$

式中 $A^{-1}(K\Delta R)$ 的值为

$$A^{-1}(K\Delta R) = \Delta C_{13} [1 \quad -1 \quad 0 \quad 0 \quad 1]^T \quad (13)$$

从式(12)可以看出, 两种模型计算出的电容值变化量仅与高低压绕组间的电容 C_{13} 变化量有关, 一方面 C_{13} 数值较小, 另一方面即使在变压器绕组发生变形的情况下 C_{13} 的变化量也较小。因此两种模型计算出的电容值变化量不会发生明显变化。

3 案例

某变电站1号主变压器, 型号为SFSZ10-50000/110, 额定电压为 $(110 \pm 8 \times 1.25\%) / (38.5 \pm 2 \times 2.5\%) / 10.5$ kV, 额定电流为 262.4/749.8/2749.3 A。进行例行试验中, 发现绕组电容量异常。出厂试验、交接试验和本次试验的测试数据如表1所示。表1中出厂试验只通过5次接线测得数据, 交接试验和例行试验采用了6次接线测得数据。

(1) 忽略高压绕组与低压绕组间电容, 采用模型1进行计算。经计算后各绕组的电容量如表2所示。

表 1 出厂试验、交接试验和本次试验电容量测试值

测试部位	出厂 电容值 /nF	交接 电容值 /nF	本次 电容值 /nF
C_{H-ML}	15.43	15.482	14.99
C_{M-HL}	23.21	23.352	25.9
C_{L-HM}	19.51	19.678	22.96
C_{HML}	14.47	14.593	14.85
C_{HM-L}	13.61	13.679	16.76
C_{ML-H}	/	24.598	24.31

表 2 采用模型 1 各绕组电容量的计算值

C_x	出厂 电容 值/nF	交接 电容 值/nF	本次 电容 值/nF	$\Delta C_{x\text{本次}-\text{出厂}}$	$\Delta C_{x\text{本次}-\text{交接}}$
C_1	2.915	2.9045	2.925	0.34%	0.71%
C_2	1.37	1.3925	1.4	2.2%	0.54%
C_3	10.185	10.298	10.525	3.3%	2.2%
C_{12}	12.515	12.5775	12.065	-3.73%	-4.25%
C_{23}	9.325	9.389	12.435	33.35%	32.44%

(2) 计及高压绕组与低压绕组间电容,采用模型 2 进行计算。由于出厂试验只有 5 组数据,无法比较,因此只比较了交接试验和例行试验的数据。经计算后各绕组的电容量如表 3 所示。

表 3 采用模型 2 各绕组电容量的计算值

C_x	交接电容值 /nF	本次电容值 /nF	$\Delta C_{x\text{本次}-\text{交接}}$
C_1	2.7395	2.765	0.93%
C_2	1.5575	1.56	0.16%
C_3	10.298	10.525	2.2%
C_{12}	12.5775	12.065	-4.25%
C_{23}	9.224	12.275	33.08%
C_{13}	0.165	0.16	-3.1%

通过表 2 与表 3 的对比,可以看出采用两种模型计算出的电容值变化量几乎是一致的,不会影响

对变压器绕组变形的诊断分析。

从表 2 和表 3 都可以直观地看出,中压绕组与低压绕组之间的电容量增加了 33% 左右,变化最大,高压绕组与中压绕组之间电容量小幅度降低,减小了 4.25%,低压绕组对地的电容量增加了 2.2%,说明了中压绕组在电动力作用下向铁心收缩,导致中压绕组与低压绕组间的距离大幅度减小,高中压绕组之间的距离小幅增大。

4 结 论

通过两种变压器绕组等值电容模型的计算可以得到以下启示。

(1) 在计算各绕组电容量时,先通过模型 2 计算出各个绕组对地、各绕组之间的电容量,通过式 (10) 轻松得出模型 1 的值,避免了再次解方程组的麻烦。

(2) 对于出厂试验只采用 5 次不同接线数据的,每次的试验数据都通过模型 1 方式计算出进行对比分析。

参考文献

- [1] Q/GDW 168-2008, 输变电设备状态检修试验规程 [S].
- [2] 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.
- [3] 丁伟, 丁天祺. 变压器绕组电容量异常变化实例分析 [J]. 变压器, 2012, 49(2): 71-74.
- [4] 同济大学数学系. 线性代数 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.

作者简介:

李林(1984), 硕士, 工程师, 主要从事高压电气试验工作。

(收稿日期: 2014-07-28)

提高供电可靠性 加快建设现代配电网