

10 KV 变压器分布电容及零序电感的 测 试 分 析

蒋 平

摘 要

本文论述了变压器分布电容和零序电感的测试原理,由试验测得 10KV 变压器的分布参数,并对测试结果作了分析讨论。

一、前 言

架空输电线常常可能受到外来冲击电压陡波的损害,如雷电波、HEMP(高空核爆炸产生的电磁脉冲)耦合电压等。当这些冲击电压通过架空线侵入变压器时,在变压器的一、二次侧将产生怎样的过电压波形及其对变压器的危害和给保护装置带来的问题,是电力工程上所关注的。当雷电波或 HEMP 耦合电压侵入变压器时,由于其在三相线路上感应耦合的电压相同,相当于是一组共模(零序)信号的作用,且这组共模信号是前沿很陡的脉冲波,其高频分量很丰富^[1],故用工频时的变压器模型来分析这些冲击电压对变压器的作用,显然是不合适了。从本质方面来看,当工频或频率较低的信号作用时,由于变压器分布电容所起作用甚微,故可认为只是由变压器绕组的阻抗起作用。随着信号频率的增大,变压器分布电容的作用也越来越大,最后将起主导作用。因此在分析上述共模冲击电压脉冲波侵入变压器时,必须采用变压器的分布电容和零序电感参数绘制等效电路。

严格说来,变压器绕组的分布参数等效电路为一链式电路。在实际进行分析计算时,常对其进行简化。略去变压器绕组匝间分布电容,将绕组对机壳、绕组与绕组间总的分布电容等分为两半,分别集中接在变压器绕组的始端和末端,这样的变压器共模单相分布参数等效电路如图 1 所示^[2]。

图中:

C_1 为变压器一次绕组对地(外壳)电容;

C_2 为变压器二次绕组对地(外壳)电容;

C_{12} 为变压器一、二次绕组之间电容;

L_{10} 为变压器一次绕组零序电感;

L_{20} 为变压器二次绕组零序电感;

M_0 为变压器一、二次绕组之间零序互感;

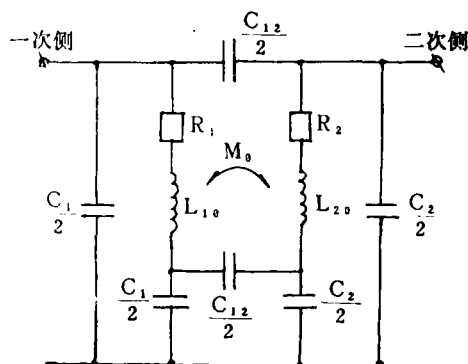


图1 变压器单相分布参数等效电路

R_1 为变压器一次绕组电阻;

R_2 为变压器二次绕组电阻。

本文着重用试验方法对 10KV 变压器的分布电容和零序电感进行测试, 其原理和方法可推广至其他电压等级的变压器。

二、试验原理和测试电路

略去变压器绕组的电阻, 其共模三相分布参数等效电路如图 2 所示。

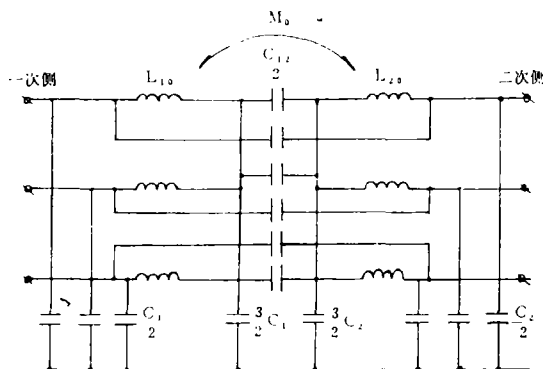


图2 变压器三相分布参数等效电路

1. 变压器分布电容测试电路

测量电压器的分布电容, 可有多种方法, 这里采用工频信号测电容。

由图 2 可知, 当对变压器施加工频电压时, 由于频率较低, 变压器分布电容的容抗 X_C 将远大于绕组的零序电抗 X_{L0} 。

如设 $L_0 = 0.9^H$, $C = 500^{PF}$, 则当 $f = 50^{Hz}$ 时有:

$$X_{L0} = 2\pi \times 50 \times 0.9 = 283 \Omega$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 500 \times 10^{-12}} = 6.37 \times 10^8 \Omega$$

这样, 在工频试验电压下, 将图 2 简化为图 3 是合理的。注意图中已把变压器一次侧和二次侧的三个接线端分别连接为一个端子, 相应的电容进行了合并。

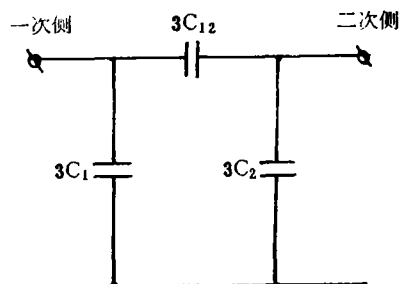
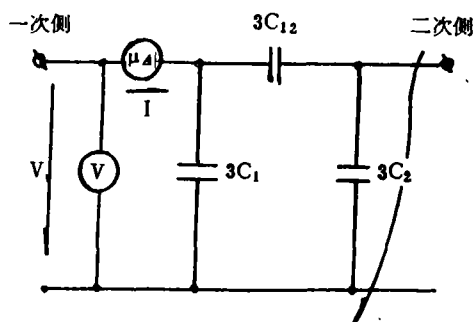


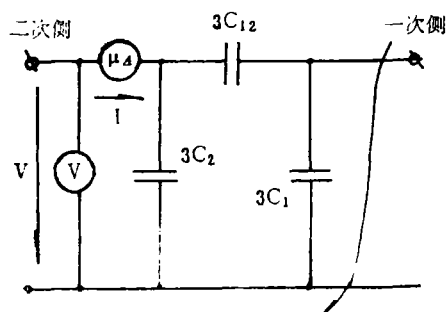
图 3 测分布电容简化电路

为测得 C_1 、 C_2 和 C_{12} 三个分布电容, 测试可分为三个部分进行。

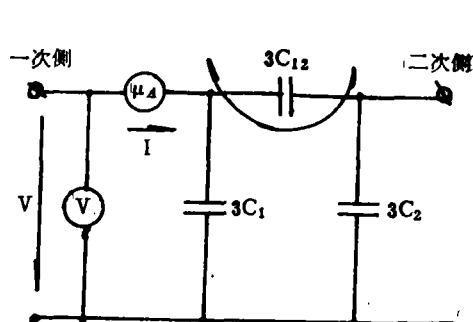
a) 在变压器一次侧加试验电压, 二次侧对机壳短接, 如图 4 (a) 所示。



(a)



(b)



(c)

图 4 变压器分布电容实测电路

此时变压器一次侧端的入口电容为:

$$C_A = \frac{1}{\omega X_{CA}} = \frac{I}{\omega V} = \frac{I}{100\pi V}$$

即有:

$$3(C_1 + C_{12}) = C_A \quad (1)$$

b) 在变压器二次侧加试验电压, 一次侧对机壳短接, 如图 4(b) 所示。

此时变压器二次侧端的入口电容为:

$$C_B = \frac{1}{\omega X_{CB}} = \frac{I}{\omega V} = \frac{I}{100\pi V}$$

即有:

$$3(C_2 + C_{12}) = C_B \quad (2)$$

c) 在变压器一次侧加试验电压, 将一、二次绕组始端短接, 如图 4(C) 所示。

此时变压器一次侧端的入口电容为:

$$C_C = \frac{1}{\omega X_{CC}} = \frac{I}{\omega V} = \frac{I}{100\pi V}$$

即有:

$$3(C_1 + C_2) = C_C \quad (3)$$

联立式 (1)、(2) 和 (3) 可解得变压器各分布电容之值为:

$$C_1 = \frac{C_A + C_B + C_C}{6} - \frac{C_B}{3} \quad (4)$$

$$C_2 = \frac{C_A + C_B + C_C}{6} - \frac{C_A}{3} \quad (5)$$

$$C_{12} = \frac{C_A + C_B + C_C}{6} - \frac{C_C}{3} \quad (6)$$

在测试过程中要注意的是, 由于电容中通过电流很小, 故在测试中选用精度较高的电流表是关键。

2. 变压器二次绕组零序电感测试电路

10KV 变压器一般都为 Y/Y₀ 接法, 即在运行时只有二次绕组中性点接地, 故只需测量二次绕组之零序电感 L_{20} , 其测试电路如图 5 所示。

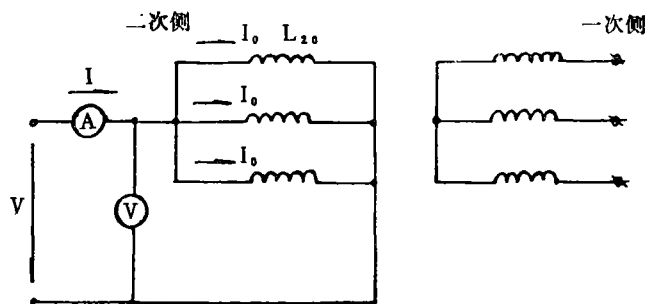


图 5 变压器零序电感实测电路

由图 5 可知, 变压器零序电感 L_{20} 可以下式进行计算:

$$L_{20} = \frac{X_{20}}{\omega} = \frac{3V}{\omega I} = \frac{3V}{100\pi I} \quad (7)$$

由于容量为数百 KVA 的 10KV 变压器二次侧额定电流为数百安培, 故欲得到较好的结果, 在测试中应尽量提高试验电流, 否则电压很小, 难以测量。

三、10KV 变压器分布参数测试结果及分析

根据上述测试原理, 笔者在某变压器试验工场选取了三台 10KV 变压器进行了分布参数测试。

三台变压器的容量分别为 500KVA, 300KVA 和 250KVA, 为叙述方便, 将它们分别给以编号 I^{*}、II^{*} 和 III^{*}。

按图 4 和图 5 的测试电路进行试验, 测量数据经计算整理后各得变压器分布电容和零序电感见表 1 和表 2。

表 1 10KV 变压器分布电容测试结果

| 变 压 器 编 号 | 测量次数 序 号 | 测 试 结 果 (PF) | | | 平 均 值 (PF) |
|------------------|-------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| | | C ₁ | C ₂ | C ₁₂ | |
| I [*] | 1 | 388 | 1234 | 945 | C ₁ = 373 |
| | 2 | 361 | 1250 | 948 | C ₂ = 1239 |
| | 3 | 371 | 1233 | 938 | C ₁₂ = 944 |
| II [*] | 1 | 302 | 937 | 536 | C ₁ = 305 |
| | 2 | 310 | 935 | 539 | C ₂ = 935 |
| | 3 | 303 | 933 | 536 | C ₁₂ = 537 |
| III [*] | 1 | 301 | 677 | 550 | C ₁ = 299 |
| | 2 | 299 | 668 | 551 | C ₂ = 670 |
| | 3 | 296 | 666 | 570 | C ₁₂ = 557 |

表 2 10KV 变压器二次绕组零序电感测试结果

| 测量次 数序号 | 变压器 编 号 | I [*] | II [*] | III [*] |
|------------|------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 | | $5.91 \times 10^{-4} \text{ H}$ | $1.07 \times 10^{-3} \text{ H}$ | $9.95 \times 10^{-4} \text{ H}$ |
| 2 | | $6.13 \times 10^{-4} \text{ H}$ | $1.10 \times 10^{-3} \text{ H}$ | $1.05 \times 10^{-3} \text{ H}$ |
| 3 | | $5.86 \times 10^{-4} \text{ H}$ | $1.12 \times 10^{-3} \text{ H}$ | $1.03 \times 10^{-3} \text{ H}$ |
| 平 均 值 | | $5.97 \times 10^{-4} \text{ H}$ | $1.10 \times 10^{-3} \text{ H}$ | $1.03 \times 10^{-3} \text{ H}$ |

对以上测试结果分析如下:

1. 根据变压器绕组的绝缘要求, 二次(低压)绕组距铁芯最近, 一次(高压)绕组距铁芯较远, 故定性分析可知: C_1 、 C_2 和 C_{12} 之间应有关系: $C_2 > C_{12} > C_1$, 由测试结果来看,

是符合这个规律的。从这方面来看,试验所得分布电容数据是可信的。

2.从测试结果可以看出,10KV变压器的分布电容与变压器的容量有关。根据试验中三台变压器的试验数据,变压器分布电容是随其容量增大而增大,在用变压器分布电容等效电路分析计算变压器对冲击电压的响应时,常定义电容分压比^[2]:

$$\mu = \frac{C_{12}}{C_{12} + C_2}$$

根据上式,试验中所用三台变压器的电容分压比分别为:

$$\mu_1 = \frac{944}{944 + 1239} = 0.432$$

$$\mu_2 = \frac{537}{537 + 935} = 0.365$$

$$\mu_3 = \frac{557}{557 + 670} = 0.453$$

可见,对于容量为数百KVA的10KV变压器,其电容分压比为0.35~0.45。

3.对于Y/Y₀连接组变压器零序电抗的标么值一般为0.6左右^[3],经计算,本试验所选用三台变压器零序电抗标么值分别为0.647,0.741和0.557,符合一般情况。

4.由于10KV变压器一次绕组无中性点外引,故一次绕组零序电抗L₁₀无法实测。若需用此值,可根据变压器一、二次绕组的变比关系选取一值^[4],取

$$L_{10} = K^2 \times L_{20}$$

式中K为变压器的变比。

变压器一、二次绕组之间的零序互感M。亦可根据下列一般的关系选取:

$$M_0 = 0.85 \sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}$$

实际上,由于冲击电压脉冲高频分量相当丰富,而使得零序电抗在变压器的分布参数等效电路中几乎不起作用。变压器对HEMP耦合电压响应的一些分析计算结果已充分证明了这一点。故在实际分析计算中都是采用图3所示的电容分压电路^[2],即图2等效电路中各零序电抗支路可视为开路。

参 考 文 献

- [1] 蒋平,刘敏·HEMP对架空线的耦合分析·抗核辐射电子学第三次学术交流会议论文集第三分册,1987:2
- [2] James H, Marable. Effects of EMP on A Power System. U.S.A: OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY. FINAL REPORT, 1972: 21~24
- [3] 吴大榕·电力学·水利电力出版社,1979:211
- [4] 黄彬业,刘敏·核电磁脉冲沿供电线路对防护工程的侵入及其防护措施·1987年电磁兼容学术讨论会论文集,1987:293~295

Measuring of the Distributing Capacitance and the Zero-Sequence Inductance of A 10KV Transformer

Jiang Ping

ABSTRACT

In this paper, a method of measuring the distributing capacitance and the zero-sequence inductance of a distribution transformer has been introduced. A set of the typical data of 10KV transformer has been obtained by experiment and the result has been analyzed.

(上接第 36 页)

得稳定性较好的高、中粘度的 CMS, 最高粘度可达 1500 cp, 在某些应用方面可以作为 CMC 的代用品。

参 考 文 献

- [1] Hebeish A. J. Starch, 1988; 40(4):147
- [2] GB 713,750
- [3] Mofei A. J. Starch, 1982; 34(11):375

Study on Synthesis of Carboxy-Methyl Starch and its Viscosity Property

Quan Yi

ABSTRACT

The paper reported the influence of technology factor synthesizing C.M.S. on viscosity. A C.M.S. with high and middle viscosity and good stability has been obtained.