

500kV变压器直流电阻测试

辽阳电业局 陈文阁

变压器直流电阻的测试是检查变压器导线焊接是否良好,导线有无断股,分接开关接点有无松动,触头接触是否良好,并联支路有无断线的主要方法。在变压器试验中被视为一主要项目。特别是近几年来,测量变压器直流电阻中发现多次变压器导线焊接不良,分接开关存在缺陷,避免了系统设备事故。所以越来越引起人们的重视。本文对于500kV单相变压器直流电阻的测试方法及测量结果的判断,提出一些看法。

1 辽阳变电所500kV变压器的概况

该变压器系西安变压器电炉厂产品,为单相变压器,三绕组,电压为500/220/15.75kV,容量为250/250/60×2MVA。每侧绕组是双分裂绕组,如图1所示,且铁芯为四柱(其中有两个旁轭)。变压器本体内油为60吨,冷却方式为风冷,强迫油循环。四台变压器相继于1979、1980、1981年生产出厂。

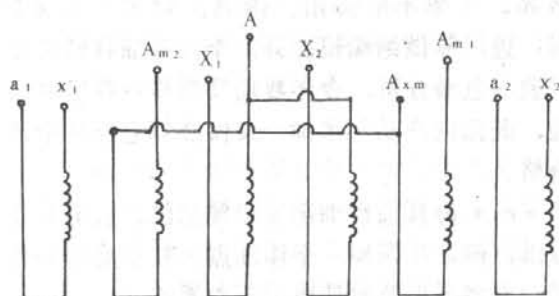


图1 变压器绕组示意图

2 变压器直流电阻测试中存在的问题及分析

a. 由于该变压器容量较大,各侧线圈的

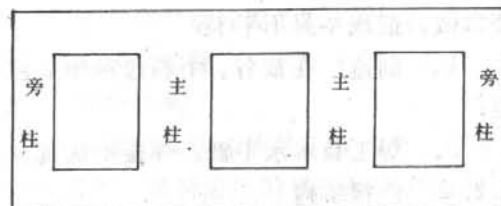


图2 铁芯示意图

匝数比很大,匝数比如下:

高、中压间匝数比 $K_{12}=2.174$

中、低压间匝数比 $K_{23}=8.44$

高、低压间匝数比 $K_{13}=18.35$

所以各侧线圈的电感 L 量级差别很大,而各侧线圈的直流电阻差别更大,阻值如下:

高压线圈 $r_1=0.9939\Omega$

中压线圈 $r_2=0.1422\Omega$

低压线圈 $r_3=0.00288\Omega$

因此用同一种仪器很难同时完成一台变压器各线圈直流电阻的测试工作,充电时间长,且不稳定,测试数据分散性很大。例如用一台输出电压为3伏的稳压电源,测量高压线圈时当线圈的过渡过程完结以后,稳定电流。

$$I_{q1} = \frac{E}{r_1} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$= \frac{E}{r_1} = \frac{3}{0.988} = 3.06 \text{ (安)}$$

式中 E ——电源电势;

r_1 ——被测线圈的直流电阻;

t ——时间;

τ ——充电时间常数。

电流 I 值即从合闸的瞬间为零到稳定后的3.06安培,充电时间长达50分钟。在测量低压线圈时,由于低压线圈阻值为0.00288 Ω ,同理

电流是从零到稳定后的1041安培。由此可见任何一种仪器也不能保证其稳定作用，使之无法测量。

b. 变压器A、B、C、D四台不是同批产品，每台变压器所用导线的材质批号不同因此，线规及电阻率也不同，每台变压器所用绝缘材料如绝缘纸，纸板的厚度及绕制工艺的差异，造成单根铜线的公差很大，（根据制造厂工艺查出最大公差可达13%），因此每台电阻的平衡度受到很大的影响。

c. 变压器容量，体积很大，变压器本体内部油近60吨，直流电阻的测试时间较长。变压器油温表不能及时准确的反映出线圈的真实温度而油温表反映的温度只是器身外表面的温度，这个温度是随天气，环境温度与光照变化而变化较大，而线圈温度随外温变化惰性很大。例如变压器在春季停电后，油温表指示55℃当几小时后，油温表很快下降了十几度，而线圈温度由于变压器油不循环，所以线圈温度不可能下降这么快。变压器南北侧的两个温度表反映南北侧的外表面温度随光照不同而不同，使线圈温度无法测出和测准，所测直流电阻经温度换算后误差会更大。

由于上述原因，使变压器停电测试直流电阻时造成每相之间的差别较大，超过规程规定值的2%。而对同一台变压器今年的测试数据与历年比较也远远超过2%的规定值，使测试数据不能成为判断变压器有无故障的依据，失去了测试意义。

3 变压器直流电阻的测试方法

3.1 变压器直流电阻的测试方法

几年来的实际摸索，我们采用了稳压电源恒流源，快速充电装置等试验仪器对变压器直流电阻进行了测试，由于变压器的特殊情况都存在一定的问题，几种仪器都很难同时完成变压器三线圈直流电阻的测试。为此我们采用了较为简单的大容量电池和一可调电阻组成的充电回路，可根据被测线圈的电感和电阻的大小来调整电压和外附电阻来缩短充电时间，效

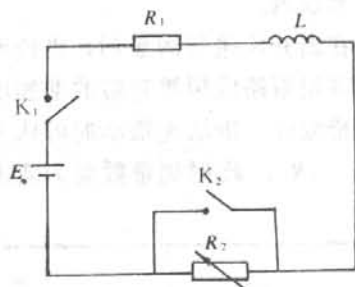


图3 测量原理图

E —测量时加直流电压；

L —线圈的电感；

R_1 —线圈直流电阻；

R_2 —外加可调电阻；

果令人满意。原理图见图3。

用提高电压和一个外附可调电阻（阻值可按不同线圈的阻值考虑）的回路，来达到缩短充电时间。当充电时将 K_1 、 K_2 合上，将 R_2 短接，使充电电流有较大的上升速度，此时电流 $I' = E/R_1 (1 - e^{-t/\tau})$ 直至达到充电电流 $I' > E/(R_1 + R_2) (1 - e^{-t'/\tau})$ 时将 K_2 断开，使 R_2 投入。断开 K_2 时最为理想的是 $I' = I = E/(R_1 + R_2)$ ，但很难做到。因此当断开 K_2 时无非是两种可能，即为 $I' < I$ 或 $I' > I$ 。此时电流将缓慢地上升或下降，同时向相反地趋于稳定电流 I 。当 $I' > I$ 时是储能电感通过电阻释放能量的过程，当 $I' < I$ 时，是电源通过电阻向电感继续充电的过程。由于铁芯的磁滞回线的影响，在同样的稳电流下，电流的上升和下降过程中，导磁系数有很大差别，因此电流下降时的电感比上升时电感小。即电流 $I' = 1.1I$ 要比 $I' = 0.9I$ 超向稳定值 I 要快得多，因此此方法称过充方法。

3.2 测试中的注意事项

a. 在测量时，应尽量选择电池容量较大的蓄电池或大型干电池，电池在电压选定后应尽量采用并联支路，不宜采用串联过多，以避免个别电池在工作中能量变化造成新的过渡过程甚至无法稳定。

b. 整个试验回路接线应可靠，刀闸接触良好，使回路电阻是一个恒值，否则也将因为回路电阻的变化引起电流的变化而影响稳定时间。

c. 附加电阻 R_2 应根据线圈的直流电阻选

择使回路电流即保证仪器仪表的测量灵敏度又不损坏仪器仪表。

d. 在断开K进行测量时,当检流计趋向稳定后,可用短路线短接开路的非加压线圈,此时观察检流计,确认无摆动时可认为充电稳定。即 $E = iR$, 此时测量数据为准确。不能

用充电时间相等的办法读取数值,以免造成不允许的误差。

3.3 500kV变压器直流电阻测试数据的处理

现场测试数据 见表1。

从这一组数据计算分析:

各线圈相间相互差为

表 1

编 号	相 别	现 场 测 试 数 据					
		高 压 线 圈		中 压 线 圈		低 压 线 圈	
		AX_1	AX_2	$A_{m1} X_m$	$A_{m2} X_m$	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$
80035-2	A	0.9747	0.9700	0.1432	0.1426	0.00254	0.002925
80035-3	B	0.9839	0.9800	0.1410	0.1407	0.00252	0.002876
80035-1	C	1.0002	0.9990	0.1399	0.1386	0.00254	0.00290
79131-1	D	0.9835	0.9810	0.1422	0.1416	0.002518	0.002888

$a_1 X_1$ 柱三相比互差是0.99%;

$a_2 X_2$ 柱三相比互差是1.86%;

$a_1 X_1$ 与 $a_2 X_2$ 比较互差是14.6%;

高压线圈三相比互差是2.56%;

中压线圈三相比互差是2.57%;

该变压器在出厂试验值和现场交接试验值均存在此问题,按规程要求已经超标。几年来按下述办法来处理变压器直流电阻的测试结果,以决定变压器是否投入运行的。

a. 测量每台变压器同一侧双分裂线圈各线圈的直流电阻,阻值互差不应大于2%。

$$\text{即 } \frac{AX_1 - AX_2}{AX_1} \times 100\% \leq 2\%$$

$$\frac{A_{m1} X_m - A_{m2} X_m}{A_{m1} X_m} \times 100\% \leq 2\%$$

用此方法计算表1数值互差为:

80025-1 AX_1 与 AX_2 互差为0.12%;

$A_{m1} X_m$ 与 $A_{m2} X_m$ 互差为0.94%。

80035-2 AX_1 与 AX_2 互差为0.07%;

$A_{m1} X_m$ 与 $A_{m2} X_m$ 互差为0.42%。

80035-3 AX_1 与 AX_2 互差为: 0.39%;

$A_{m1} X_m$ 与 $A_{m2} X_m$ 互差为0.07%。

79131-1 AX_1 与 AX_2 互差为0.25%;

$A_{m1} X_m$ 与 $A_{m2} X_m$ 互差为0.42%。

b. 测量每台变压器各线圈直流电阻比值的变化率(与历年比)不应大于2%。

$$\text{即: } \frac{AX_1/A_{m1} X_m(90\text{年}) - AX_1/A_{m1} X_m(91\text{年})}{AX_1/A_{m1} X_m(90\text{年})}$$

$$\times 100\% \leq 2\%$$

$$\frac{A_{m1} X_m/a_1 X_1(90\text{年}) - A_{m1} X_m/a_1 X_1(91\text{年})}{A_{m1} X_m/a_1 X_1(90\text{年})}$$

$$\times 100\% \leq 2\%$$

$$\frac{AX_1/a_1 X_1(90\text{年}) - AX_1/a_1 X_1(91\text{年})}{AX_1/a_1 X_1(90\text{年})}$$

$$\times 100\% \leq 2\%$$

4 结束语

影响大型变压器直流电阻测量的因素很多,要根据实际情况,采取必要措施才能使测量的结果准确。几年来的实践和运行经验证明,我们对大型变压器直流电阻的测量方法和数据处理方法是行之有效的、是可以发现缺陷的。