

一起主变压器绕组变形诊断

刘君 蔡川 胡琳 干建伟 陈绩 朱虎
(国网成都供电公司 四川成都 610041)

摘要: 为了诊断主变压器绕组是否发生变形,开展短路阻抗及绕组频率响应测试。针对一起短路阻抗超过注意值的主变压器,通过分析其高、中、低压侧相间误差变化趋势、绕组频率响应波形及运行工况,综合诊断得出其绕组已发生严重变形,通过吊心检查证实了诊断结论。

关键词: 变压器; 绕组变形; 诊断

Abstract: In order to detect and diagnose the winding deformation of main transformers, the tests of short-circuit impedance and winding frequency response are carried out. Aiming at a main transformer whose short-circuit impedance exceeds the attention value, its winding is diagnosed to be seriously deformed through analyzing variation trend of phase errors, waveform of winding frequency response and operating condition in high-voltage side, middle-voltage side and low-voltage side. The diagnosis result is verified by the core suspension and inspection.

Key words: transformer; winding deformation; diagnosis

中图分类号: TM403.2 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)01-0041-04

0 引言

电力变压器是电力系统的枢纽设备,其安全可靠性是保障电网稳定运行的必备条件^[1-2]。运行中的变压器由于受震动以及电磁力作用,绕组的机械强度会受到影响。一旦出现短路故障,很容易导致绕组出现变形、位错或坍塌现象,使变压器发生事故的概率不断增加^[3-4]。目前,针对变压器的短路强度问题开展了大量的理论研究,对绕组变形测试的方法进行了大量的实践^[4-5],但如何利用当前的测试方法进行绕组变形准确诊断还需要大量的积累和验证。针对一起短路阻抗超过注意值的主变压器,通过分析其高、中、低压侧相间误差变化趋势、绕组频率响应波形及运行工况,综合诊断得出其绕组已发生严重变形,通过吊心检查证实了诊断结论。

1 试验方法

1.1 低电压短路阻抗

在额定频率和参考温度下,短路阻抗是变压器的某一对绕组中,某一侧绕组端子之间的等值阻抗。确定此值时,该对绕组的另一侧绕组被短路,而其他

绕组(如果有)开路^[6-7]。短路阻抗可用一个复数表示为

$$\dot{Z}_k = R + jX_k$$

在实际测试时,只直接测其模值得

$$Z_k = |\dot{Z}_k| = \sqrt{R^2 + X_k^2}$$

短路阻抗用百分数表示时,可用 $Z_{K\%}$ 表示为

$$Z_{K\%} = \frac{\sqrt{3}Z_k I_r}{U_r} \times 100$$

宜在最大分接位置和相同电流下测量。试验电流可用额定电流,亦可低于额定值,但不宜 $< 5 \text{ A}$ 。三相法接线图如图1所示。

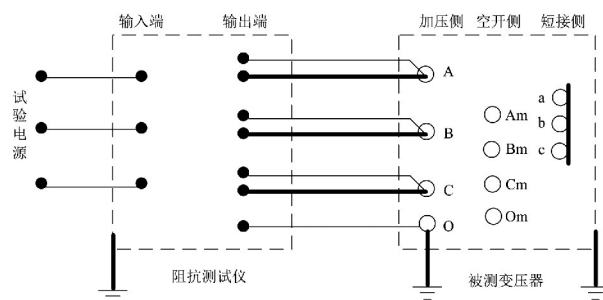


图1 变压器短路阻抗测试接线图

不同容量及电压等级的变压器,要求分别如下:

- 1) 容量 100 MVA 及以下且电压等级 220 kV 以下的变压器,初值差不超过 $\pm 2\%$;

2) 容量 100 MVA 以上或电压等级 220 kV 以上的变压器,初值差不超过 $\pm 1.6\%$;

3) 容量 100 MVA 及以下且电压等级 220 kV 以下的变压器三相之间的最大相对互差不应大于 2.5%;

4) 容量 100 MVA 以上或电压等级 220 kV 以上的变压器三相之间的最大相对互差不应大于 2%。

1.2 绕组频率响应

频率响应指在正弦稳态情况下,网络的传递函数 $H(j\omega)$ 与角频率 ω 的关系。在较高频率的电压作用下,变压器的每个绕组均可视为一个由线性电阻、电感(互感)、电容等分布参数构成的无源线性双口网络,其内部特性可通过传递函数 $H(j\omega)$ 描述,如图 2 所示。如果绕组发生变形,绕组内部的分布电感、电容等参数必然改变,导致其等效网络传递函数 $H(j\omega)$ 的零点和极点发生变化,使网络的频率响应特性发生变化^[7-8]。

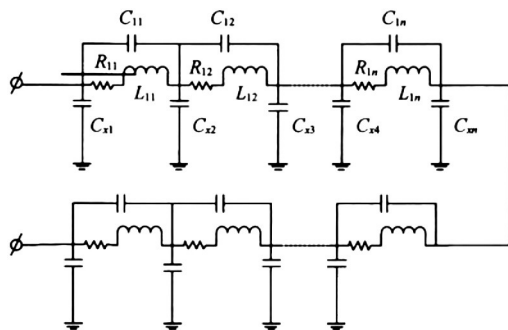


图 2 频率相应法的基本检测回路

常用的绕组频率响应的现场接线如图 3 所示。

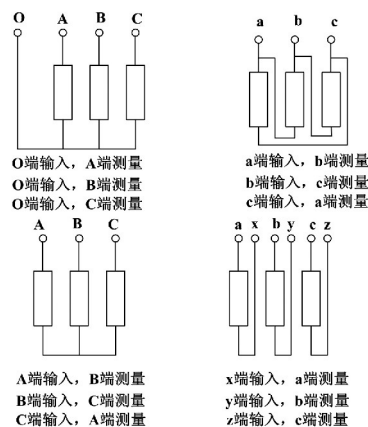


图 3 绕组频率响应法的几种接线方式

根据相关系数的大小,可较直观地反映出变压器绕组幅频响应特性的变化,通常可作为判断变压

器绕组变形的辅助手段,如表 1 所示。典型的变压器绕组幅频响应特性曲线,通常包含多个明显的波峰和波谷。经验及理论分析表明,幅频响应特性曲线中的波峰或波谷分布位置及分布数量的变化,是分析变压器绕组变形的重要依据。

表 1 相关系数与变压器绕组变形程度的关系

绕组变形程度	相关系数 R
严重变形	$R_{LF} < 0.6$
明显变形	$1.0 > R_{LF} \geq 0.6$ 或 $R_{MF} < 0.6$
轻度变形	$2.0 > R_{LF} \geq 1.0$ 或 $0.6 \leq R_{MF} < 1.0$
正常绕组	$R_{LF} \geq 2.0$ 和 $R_{MF} \geq 1.0$ 和 $R_{HF} \geq 0.6$

R_{LF} : 1 ~ 100 kHz; R_{MF} : 100 ~ 600 kHz; R_{HF} : 600 ~ 1 000 kHz

2 试验结果及诊断

2.1 被试变压器信息

2014 年 11 月,针对某变电站 110 kV 2 号主变压器进行例行试验,被试变压器铭牌信息如表 2 所示,试验时天气为晴,温度为 16℃,湿度为 70%。

表 2 被试变压器铭牌信息

型号	SFSZ10-50000/110	额定容量	50 000 kVA	
联结组别	YNyn0d11	出厂日期	2009 年 12 月	
阻抗电压	挡位	$U_k 12\%$	$U_k 13\%$	$U_k 23\%$
	额定 9 挡	10.23	17.94	6.63

2.2 试验数据

短路阻抗数据如表 3 所示。

对比其短路阻抗变化趋势,如图 4 所示。

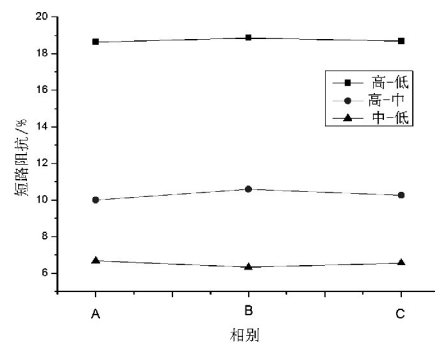


图 4 短路阻抗变化趋势

针对相间超标的高-中、中-低短路阻抗,由图 4 可以看出,高-中短路阻抗 ABC 三相变化趋势为 $A < C < B$,而中-低短路阻抗 ABC 三相变化趋势 $B < C < A$,由于变压器的每一对绕组的漏电感 L_k 是

表 3 短路阻抗试验数据

测试部位	档位	A 相	B 相	C 相	平均值	铭牌值	相间差 / %	初值差 / %
高 - 低	9b	18.63	18.852 0	18.678 0	18.720	17.94	1.17	4.35
高 - 中	9b	10.00	10.584 0	10.254 0	10.280	10.23	5.82	0.490
中 - 低	3	6.665	6.319 1	6.550 1	6.512	6.63	5.48	-1.78

这 2 个绕组相对距离(同心圆的 2 个绕组的半径 R 之差)的增函数,因此可以看出, B 相高中压绕组相对距离增大,中低压绕组相对距离减小,即中压 B 相向低压收紧变形。

高中低压侧绕组频率响应如图 5 ~ 图 7 所示。由于中压 B 相变形的影响,使得变压器高中低压三侧的分布参数发生改变,绕组频率响应的相关系数结论为轻度变形。

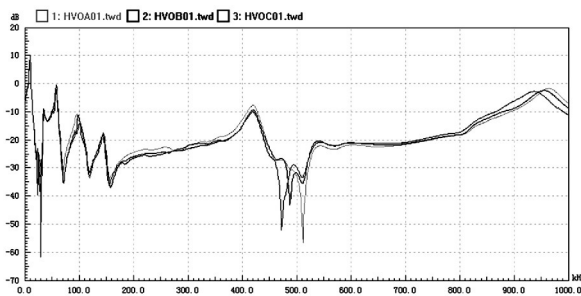


图 5 高压绕组频率响应及其相关系数

R	R_{LF}	R_{MF}	R_{HF}
R_{21}	1.281	1.052	2.230
R_{31}	1.253	0.776	1.314
R_{32}	1.258	0.861	1.633

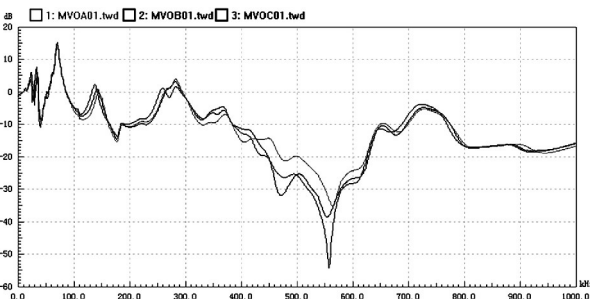


图 6 中压绕组频率响应及其相关系数

R	R_{LF}	R_{MF}	R_{HF}
R_{21}	1.390	1.418	1.530
R_{31}	2.107	1.410	1.779
R_{32}	1.319	1.631	1.853

2.3 运行情况

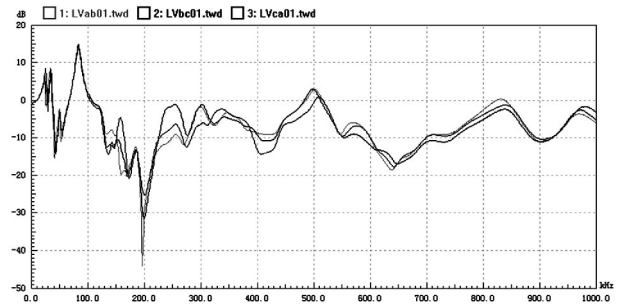


图 7 低压绕组频率响应及其相关系数

R	R_{LF}	R_{MF}	R_{HF}
R_{21}	1.462	0.952	1.384
R_{31}	1.333	0.809	1.662
R_{32}	1.736	0.942	1.787

该主变压器近期运行数据如表 4 所示。

表 4 主变压器近期运行数据

序号	运行编号	短路时间	短路电流 / A	动作持续时间 / s
1	主变压器 35 kV 侧	2014 - 2 - 6	5 352	1.5
2	10 kV 线路	2014 - 4 - 18	8 475.6	0.0
3	35 kV 线路	2014 - 7 - 30	3 583.2	0.8
4	10 kV 线路	2014 - 9 - 28	8 552.4	0.0

从运行数据可以看出,该主变压器 10 kV、35 kV 侧曾遭受过多次短路冲击,最严重一次 35 kV 侧短路电流达到 5 352 A,达到额定短路耐受电流的 73%。

3 吊心检查

由图 8 可以看出,中压 B 相存在严重变形,绕组向内收紧,验证了试验数据及其诊断结论。

4 结 论

针对一起短路阻抗超过注意值的主变压器,其高 - 中短路阻抗 ABC 三相变化趋势为 $A < C < B$,而



图 8 吊心检查中压 B 相

中 - 低短路阻抗 ABC 三相变化趋势 $B < C < A$, 诊断其 B 相高中压绕组相对距离增大 , 中低压绕组相对距离减小 , 即中压 B 相向低压收紧变形。绕组频率响应的相关系数结论为轻度变形。通过运行数据 , 该主变压器 10 kV、35 kV 侧曾遭受过多次短路冲击。通过吊心检查 , 中压 B 相存在严重变形 , 绕组向内收紧 , 验证了试验数据及其诊断结论。利用当前的测试方法进行绕组变形诊断提供了典型经验积累 , 通过综合分析变压器低电压短路阻抗相间变化趋势、频率响应图谱和运行数据 , 若三者间存在较强的逻辑关联 , 可以较为准确地判定变压器绕组变形状况 , 为相似试验数据的诊断提供了参考。

(上接第 31 页)

2) 深刻理解风电出力特性指标的含义和应用场景 , 能够节省风电建设和电网配套工程投资 , 提高电网风电接纳能力 , 缓解系统调峰压力 , 并且在倡导风电参与系统电力平衡 , 合理安排风电运行方式 , 提高发电量预测准确率等方面具有很好的应用价值。

参考文献

[1] 辛颂旭,白建华,郭雁珩,等.甘肃酒泉风电特性研究[J].能源技术经济,2010,22(12):16-20.

[2] 秦睿,刘海燕,杨萍,等.大规模风电送出能力影响因素分析[J].电力建设,2013,34(6):36-40.

[3] 蔺红,孙立成,常喜强.新疆风电出力波动特性的概率建模[J].电网技术,2014,38(6):1616-1620.

[4] 王小红,周步祥,张乐,等.基于时变 Copula 函数的风电出力相关性分析[J].电力系统及其自动化学报,2015,27(1):43-48.

[5] 刘晓东,方科,陈焕远,等.利用合理弃风提高大规模风电消纳能力的理论研究[J].电力系统保护与控制,

参考文献

[1] Jun Liu, Lijun Zhou, Guangning Wu, et al. Dielectric Frequency Response of Oil - paper Composite Insulation Modified by Nanoparticles [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2012, 19(2): 510 - 520.

[2] M. Wang, A. J. Vandermaar, K. D. Srivastava. Review of Condition Assessment of Power Transformers in Service [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2002, 18(6): 12 - 25.

[3] 毕建刚,王献丽,高克利.变压器绕组变形现场测试中应注意的问题[J].变压器,2009,46(12):29-31.

[4] 刘海峰,刘宏亮,唐亮.变压器绕组变形的诊断与分析[J].变压器,2008,45(6):61-63.

[5] Dick E P, Even C C. Transfotrmer Diagnostic Testing by Frequency Response Analysis [J]. IEEE Trans. PAS, 1978, 97(6): 2144 - 2153.

[6] DL/T 911 - 2004 电力变压器绕组变形的频率响应分析法[S].

[7] Q/GDW 1168 - 2013 输变电设备状态检修试验规程[S].

[8] DL/T 1093 - 2008 电力变压器绕组变形的电抗法检测判断导则[S].

作者简介:

刘君(1984),博士、高级工程师,主要从事高压电气设备绝缘状态评估及其方法研究。

(收稿日期:2015-10-08)

[6] 方倩倩,靳宝宝,郭树锋.青海电网风电场出力特性研究[J].青海电力,2014,33(s1):34-39.

[7] 林章岁,罗利群.福建省风电出力特性及其对电网的影响分析[J].电力建设,2011,32(12):18-23.

[8] 尹佳楠,葛延峰,高凯.风电场群出力的汇集效应分析[J].电测与仪表,2015,52(5):104-108.

[9] 高凯,朱加明,葛延峰等.联网风电场集群运行特性分析[J].东北电力大学学报,2014,34(4):11-16.

[10] 姚天亮,杨德洲,郑昕.动态补偿消弧线圈在大型风电场灭弧中的应用[J].电力建设,2013,34(3):109-112.

作者简介:

姚天亮(1979),工程师、硕士,从事电力系统一次规划、电网稳定分析、新能源并网研究工作;

吴兴全(1972),高级工程师,从事电力系统规划、保护研究工作;

李志伟(1983),工程师,从事电力系统一次规划。

(收稿日期:2015-10-10)