

一例核电站电压互感器三相电压不平衡缺陷的分析与处理

王略¹, 雷成¹, 张钰², 申雁鹏¹, 王声学¹

(1.中核集团江苏核电有限公司,江苏连云港 222042;

2.江苏方天电力技术有限公司,江苏南京 211102)

摘要:某核电站高压备用变压器在某次检修送电后,出现低压侧电压互感器测量的三相电压不平衡现象。采用节点电压法对此现象进行了分析,确定是由于负荷中性点的位移导致了电压不平衡。但在消除了负荷中性点位移后,仍有1台电压互感器测量的三相电压不平衡,检查发现是由其熔断器底座的故障所致,消除此缺陷后,电压测量值恢复了正常。

关键词:电压互感器;不平衡;中性点位移

中图分类号:TM451

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)03-0012-03

中核集团某核电站目前运行有2台VVER1000型的核电机组,每台机组配备1台高压备用变压器,用于在正常厂用电源失去后为机组提供厂用电源。高压备用变压器为分裂绕组变压器,额定容量为63 MV·A,接线方式为YN-d11-d11,额定电压比为220/6.3/6.3 kV,低压侧2个绕组分别通过一段封闭母线连接至厂用电母线,每段母线都配有2台电压互感器。高压备用变压器在某次检修送电后,出现低压侧电压互感器测量的三相电压不平衡的现象,文中采用节点电压法对此现象进行了分析。

1 事件经过与原因分析

1.1 首次电压不平衡分析

高压备用变压器整体的接线如图1所示。

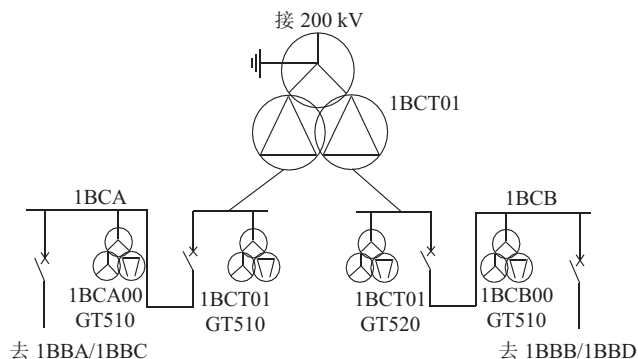


图1 高压备用变压器整体接线

2013年1月11日,1号高压备用变压器1BCT01在年度检修后复役,送电后变压器本体一切正常。在对1BCA和1BCB母线送电后,发现电压互感器1BCT01GT520和1BCB00GT510盘柜上显示的三相一次电压不平衡,于是又直接测量了2个电压互感器的二次电压值。测量结果如表1和表2所示。

从表中可看出,将测量的二次电压值乘上电压互感器的变比值,换算值和显示的一次电压值基本相

表1 1BCT01GT520 测量电压值

项目	A相	B相	C相
一次值/kV	3.5	3.7	3.9
二次值/V	55.2	58.6	51.9

表2 1BCB00GT510 测量电压值

项目	A相	B相	C相
一次值/kV	3.4	3.6	3.9
二次值/V	54.6	57.3	62.0

等,2个电压互感器测量的各相电压值大小也对应基本相等,可排除测量显示表计的问题。该变压器本次检修前运行状态一切正常,没有发现电压不平衡的现象,检修过程中仅进行了外部检查处理,检修后的各项常规电气试验结果也都正常,基本可排除变压器本体的问题。而且,检查发现1BCA母线上的2个电压互感器的测量值也存在不平衡的现象。

根据上述现象,对该次电压不平衡作如下分析:该变压器低压侧为三角形接线,相当于一个中性点没有接地的三相交流电源系统。当仅带上厂用电母线时,三相负载主要为母线对地电容,如图2所示。 C_A, C_B, C_C 为每相对地电容, Z_A, Z_B, Z_C 为每相负荷的等效阻抗。采用节点电压法^[1]求解此电路,节点电压 U_{NN} 为:

$$\dot{U}_{NN} = (\frac{\dot{U}_A}{Z_A} + \frac{\dot{U}_B}{Z_B} + \frac{\dot{U}_C}{Z_C}) / (\frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B} + \frac{1}{Z_C}) \quad (1)$$

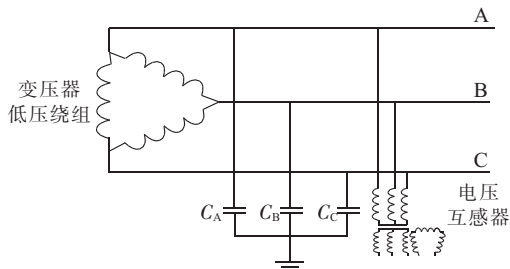


图2 变压器低压侧接线

由于此时低压侧绕组的负荷仅为厂用母线,基本为纯容性负载,因此 Z_A, Z_B, Z_C 主要由母线的对地电容决定,从而可近似认为:

$$Z_A = 1/j\omega C_A \quad (2)$$

$$Z_B = 1/j\omega C_B \quad (3)$$

$$Z_C = 1/j\omega C_C \quad (4)$$

将式(2—4)代入式(1)可得:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{NN} &= \frac{\dot{U}_A j\omega C_A + \dot{U}_B j\omega C_B + \dot{U}_C j\omega C_C}{j\omega C_A + j\omega C_B + j\omega C_C} = \\ &= \frac{\dot{U}_A C_A + \dot{U}_B C_B + \dot{U}_C C_C}{C_A + C_B + C_C} \quad (5) \end{aligned}$$

此时电源所带三相母线的长度不完全一样,母线长度又较短,因此三相负荷对地电容值之间的相对差异较大,即 C_A, C_B, C_C 之间的相对差异较大,又因为:

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = U \angle 0^\circ + U \angle -120^\circ + U \angle 120^\circ = 0 \quad (6)$$

在一般情况下,负载的中性点和电源中性点不是等电位,中性点发生了相对位移,假设式(5)计算后 $\dot{U}_{NN} = Y \angle$ 。则三相负载上的电压:

$$\dot{U}_{AN'} = \dot{U}_A - \dot{U}_{NN} = U \angle 0^\circ - Y \angle \quad (7)$$

$$\dot{U}_{BN'} = \dot{U}_B - \dot{U}_{NN} = U \angle -120^\circ - Y \angle \quad (8)$$

$$\dot{U}_{CN'} = \dot{U}_C - \dot{U}_{NN} = U \angle 120^\circ - Y \angle \quad (9)$$

其向量图如图3所示, $\dot{U}_{AN'}, \dot{U}_{BN'}, \dot{U}_{CN'}$ 在大小上必然存在差异,某一相会比电源电压高,另一相会比电源电压低,这和表1、表2中的测量值反映的现象是一致的。若继续带上更长的母线或联络电缆等更多的负载后,每相的对地电容量将增大,但每相之间的相对差异将缩小,达到一定程度后,可以认为 $C_A = C_B = C_C$,则:

$$\dot{U}_{NN} = \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) = 0 \quad (10)$$

即负荷中性点和电源中性点没有电位差,三相负荷的电压大小将相等。

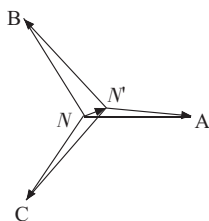


图3 三相电压向量

1.2 再次电压不平衡分析与处理

经过上述分析后,判断此次电压不平衡是一种正常现象,决定向下游继续送电,带上了去下游母线的联络电缆。该电缆每相由3根截面积 800 mm^2 的单芯交

联聚乙烯电缆组成,总长度约 150 m ,对地电容量较大。此时2个电压互感器测量显示的电压如表3所示。

表3 带上联络电缆后的电压测量值 kV

项目	A相	B相	C相
1BCT01GT520	3.7	3.7	3.7
1BCB00GT510	3.7	3.5	3.7

可见,1BCT01GT520测量的电压值三相之间平衡,且此时1BCA母线上的2个电压互感器的测量值也达平衡,中性点位移现象已消除,但1BCB00GT510测量的B相电压仍然偏低,而其他两相的电压值和1BCT01GT520的测量值一致。根据上述现象判断,1BCB00GT510电压互感器可能存在问题,于是退出该电压互感器,进行检查和试验。

1BCB00GT510是由3个单相电压互感器组成,u-x绕组额定变比为 $(6300/\sqrt{3})/(100/\sqrt{3})$,e-n绕组额定变比为 $(6300/\sqrt{3})/(100/\sqrt{3})$,3个u-x绕组为星形连接,3个e-n绕组连接成开口三角。对3个电压互感器分别进行了电气试验,绕组绝缘电阻正常,电压比与铭牌相符,三相的空载特性也满足要求,各个二次绕组的直流电阻无异常,但在测量一次绕组直流电阻时,发现A、C两相测量值稳定,而B相的测量值忽大忽小,很不稳定。该电压互感器一次绕组通过熔断器和母线相连,熔断器外端用一个带螺纹的触头固定,里端为一有弹性的底座,用于将熔断器压紧。取下外端的触头,用手指按压熔断器发现,A、C两相有明显的弹性,而B相没有感觉到弹性。将熔断器取出进行检查,发现B相内部底座表面上有明显烧黑的痕迹。

由此现象可以断定,由于熔断器里端的底座卡死,失去了弹性,不能对熔断器起到压紧固定的作用,造成其与熔断器接触不良,接触电阻变大,一次回路中在此接触面上的电压降变大,从而导致测量的电压值偏低。熔断器由于未被压紧,在带电运行时由于振动等原因,会在底座的接触面部位发生轻微放电,从而造成底座表面烧黑。

更换B相电压互感器后,将1BCB00GT510再次投入运行,测量显示三相电压值平衡。

2 后续措施

由于电站内的 6 kV 电压互感器均为此结构,为防止出现类似的问题,利用机组年度停机检修的时间,对全厂的该类型电压互感器进行了全面检查,未发现类似的缺陷。但从这次事件分析可知,这种弹性结构的底座存在因卡死而失去弹性的隐患,因此该检查项目应作为一个固定的项目在以后该类型电压互感器的检修时执行。

3 结束语

此次某核电站高压备用变压器低压侧电压互感器测量电压不平衡的现象由两种原因引起,一是由于负荷中性点发生位移,这是一种正常的现象,设备可以继续投运;二是由电压互感器一次回路高压熔断器接触不良导致的,开始时由于存在中性点位移现象掩盖了这一缺陷,此时就需要对电压互感器进行维修或更换。因此,对于电压互感器测量电压不平衡的现象,要进行全面分析,根据不同的原因采取行之有效的措施。

参考文献:

[1] 刘耀年,霍龙. 电路[M]. 北京:中国电力出版社,2006:241-242.

Analysis and Handling for a Defect of Potential Transformer Three-phase Voltage Unbalance at Nuclear Power Station

WANG Lue¹, LEI Cheng¹, ZHANG Yu², SHEN Yanpeng¹, WANG Shengxue¹

(1.College of Energy and Environment Southeast University, Nanjing 210096,China;

2.1.Jiangsu Frontier Electrical Power Technology Co. Ltd., Nanjing 211102,China)

Abstract: After the maintenance of backup high-voltage transformer in Tianwan nuclear power station, a three-phase voltage unbalance phenomenon on low voltage side potential transformer appeared. We analyzed this phenomenon by using nodal method, and found that the voltage unbalance is caused by load neutral displacement. After eliminating the load neutral displacement, three-phase voltage unbalance phenomenon still occurred on one potential transformer. A further detailed check is implemented and we found that the unbalance is caused by the fault of fuse base. After eliminated this defect, the three-phase voltage of the potential transformer becomes normal.

Key words: potential transformer; unbalance; neutral displacement

(上接第 11 页)

4 结束语

电容式电压互感器设备故障率较高,通过密切监测电容式电压互感器二次电压的变化情况来判断该设备是否正常是一种简单易行的有效方法。另外,可以通过定期红外测温检测等有效手段,发现一些在线监测装置难以发现的缺陷,保证设备的安全、可靠运行。

参考文献:

- [1] 涂光华. 220 kV 电容式电压互感器二次电压降低的原因分析[J]. 江西电力职业技术学院学报,2010,23(3):9-11.
[2] 张希来. 电容式电压互感器(CVT)检测方法[J]. 电工技术,2005(5):5-7.

作者简介:

- 王 略(1972),男,辽宁锦州人,高级工程师,从事核电站电气设备的维修管理工作;
雷 成(1979),男,湖南邵阳人,高级工程师,从事核电站电气设备的维修管理工作;
张 钰(1986),男,江苏南通人,助理工程师,从事高电压试验工作;
申雁鹏(1979),男,贵州遵义人,工程师,从事核电站电气设备的高压试验工作;
王声学(1982),男,江苏连云港人,工程师,从事核电站电气设备的高压试验工作。

- [3] 陈俊章. 电容式电压互感器的典型故障分析[J]. 电力电容器,2001(3):5-9.
[4] 陈明光,包玉树,张兴沛. 一起电容式电压互感器电磁单元故障分析[J]. 江苏电机工程,2012,31(5):25-31.
[5] 冯 骏,徐 钢. 一起电容式电压互感器二次回路故障诊断分析[J]. 江苏电机工程,2011,30(5):8-10.
[6] 侍海军,汪 飞,连振东. 电容式电压互感器故障实例及分析[J]. 江苏电机工程,2009,28(4):14-15.

作者简介:

- 徐长海(1963),男,江苏南京人,工程师,从事安全监察质量和管理工作;
王静君(1980),男,江苏无锡人,工程师,从事高电压试验工作。

Analysis of an Fault of 35 kV Capacitor Voltage Transformer's Secondary Voltage Abnormal Raising

XU Changhai¹, WANG Jingjun²

(1. Jiangsu Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210000, China;

2. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: A secondary voltage abnormal rising fault of 35 kV capacitor voltage transformer is introduced. This fault is caused by short-circuit of primary coil in the electromagnetic unit. Some feasible measures are proposed to detect potential faults and to take precautions against accident by online monitoring and infrared accurate thermometry.

Key words: capacitor voltage transformer; electromagnetic unit; secondary voltage; fault