

直流输电导致变压器噪声异常的测试及分析

蒋伟, 兰新生, 周易谦

(国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072)

摘要: 变压器噪声增大可能由于变压器内部故障, 或非正常运行工况引起。针对 220 kV 某变电站主变压器噪声异常的情况, 通过分析运行工况, 对噪声振动、中性点直流量进行测试及分析, 以及将主变压器噪声异常时的时间与德阳换流站切换单极大地回路运行的时间进行对比, 发现该主变压器噪声异常的原因是德阳换流站直流接地极电流导致其发生直流偏磁, 直流接地极电流导致单相三柱式变压器噪声异常的距离可达到 300 km。介绍了特高压直流接地极电流对四川电网变压器的影响情况, 并提出了变压器直流偏磁的防护建议。

关键词: 噪声; 磁滞伸缩; 变压器中性点; 直流偏磁; 单极运行

Abstract: The increase of transformer noise can be caused by its internal fault or abnormal operating conditions. Based on a main transformer in a 220 kV substation, the reason of its abnormal noise is found out. Through analyzing the operating conditions, testing noise and vibration, measuring DC of the neutral point and comparing the time of abnormal noise with the time of monopole ground return operation switched by Deyang converter station, the results show that the transformer abnormal noise is caused by its DC bias which is due to the current of DC grounding pole in Deyang converter station. And its affecting distances are up to 300 km. The protection measures for UHV DC bias current of transformers in Sichuan power grid are introduced.

Key words: noise; magnetostrictive; transformer neutral point; DC bias; monopole operation

中图分类号: TM41 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2017)01-0058-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.01.013

0 引言

变压器的噪声源来自铁心硅钢片磁滞伸缩振动、散热器风扇转动、线圈导线或线圈电磁力对变压器壳体及磁性材料的作用等。变压器噪声增大可能由于变压器内部故障引起, 或者由于非正常运行工况引起, 如谐波、直流偏磁、负荷异常增加等^[1-2]。

2013年10月10日7:30 2号主变压器响声比平常声音大而均匀, 变压器本体振动加剧, 油温、负荷以及主变压器本体无其他异常情况。幸福站2台主变压器并联运行, 变压器中性点采用部分接地方式, 其中1号主变压器中性点不接地, 2号主变压器中性点接地。该站2台主变压器均为同一变压器公司的产品, 为三相铁心独立、油路相通的组式变压器(见图1), 其主要参数如下。

- 1) 型号: SFSZ10-H-180000/220;
- 2) 额定容量: 180000/180000/90000 kVA;
- 3) 额定电压: $(230 \pm 8 \times 1.25\%) / 115/38.5$ kV;
- 4) 连接组标号: YNyn0D11。



图1 幸福站2号主变压器

1 噪声增大变压器运行工况

10月10日7:30, 幸福站2号主变压器出现噪声、振动异常, 7:40该站I母、II母三相电压正常(见图2)。

为了分析潮流和负荷是否是引起该站中性点接地变压器噪声增大的原因, 以下分别列出了噪声增大前(7:00)、噪声增大后(8:00)2号主变压器最大负荷及最大电流。



图2 7:40 2号主变压器录波图

1) 2号主变压器 7:00 运行工况

①潮流及负荷

220 kV II 母: $U_{AB} = 230.18 \text{ kV}$, $U_A = 133.07 \text{ kV}$, $U_B = 132.86 \text{ kV}$, $U_C = 132.79 \text{ kV}$

110 kV II 母: $U_{ab} = 111.36 \text{ kV}$, $U_a = 64.352 \text{ kV}$, $U_b = 64.346 \text{ kV}$, $U_c = 64.368 \text{ kV}$

②主变压器电流及有功

高压侧: $I_A = 185.820 \text{ A}$, $P_{高} = -75.724 \text{ MW}$

中压侧: $I_a = 390.791 \text{ A}$, $P_{中} = -75.756 \text{ MW}$

2) 2号主变压器 8:00 运行工况

①潮流及负荷

220 kV II 母: $U_{AB} = 230.69 \text{ kV}$, $U_A = 133.2 \text{ kV}$, $U_B = 133.1 \text{ kV}$, $U_C = 133.098 \text{ kV}$

110 kV II 母: $U_{ab} = 111.405 \text{ kV}$, $U_a = 64.365 \text{ kV}$, $U_b = 64.297 \text{ kV}$, $U_c = 64.273 \text{ kV}$

②主变压器电流及有功

高压侧: $I_A = 170.176 \text{ A}$, $P_{高} = -69.250 \text{ MW}$

中压侧: $I_a = 358.945 \text{ A}$, $P_{中} = -69.684 \text{ MW}$

2号主变压器噪声增大前后潮流、负荷、电流和有功均未出现异常情况。

2 红外及油温测试

10月10日幸福站2号主变压器出现噪声增大的现象,10月11日该变压器噪声仍未减小,运行人员对2号主变压器进行了红外测温 and 油温测试。图3为10月11日该主变压器红外测温图片(本体及A、B、C相)。

2号主变压器油温测试结果如表1所示。

表1 2号主变压器油温测试结果

部位	A相	B相	C相	绕组	环境
温度/℃	50.1	49.6	51.3	52.6	21.3

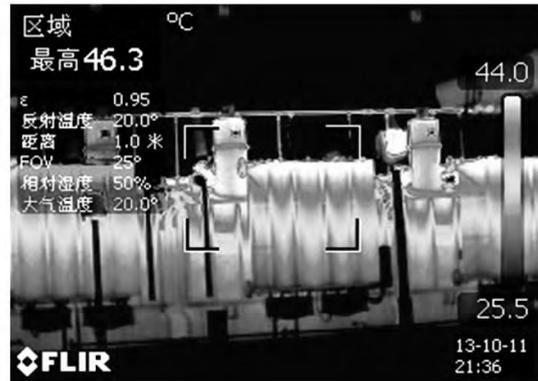


图3 2号主变压器红外测温图

可以看出10月11日测得的2号主变压器红外测温最高温度为46.3℃,变压器油温和绕组温度均在正常范围内。

3 噪声振动测试及分析

10月12日,对220 kV幸福站2台主变压器噪声和振动进行了测试。

3.1 噪声测试及分析

为分析变压器中性点接地方式是否与其噪声异常相关,主变压器噪声测试按照2号主变压器接地、1号主变压器不接地和1号主变压器接地、2号主变压器不接地两种方式进行。

主变压器噪声测试时,噪声测试仪器位于油池边缘竖直高度1.2 m处,每台变压器各测11个点,测点位置见图4。

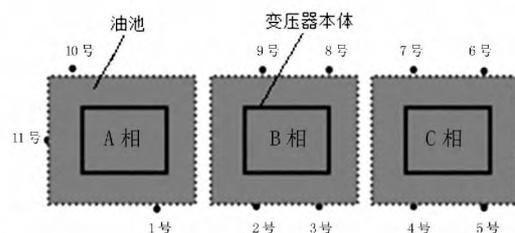


图4 2号变压器噪声测点位置示意图

测试结果见表2。

从表中数据可以看出,变压器中性点接地时比不接地时等效声级最大差达13.7 dB。

图5为中性点在不同接地方式下的噪声频谱分布图。从图5可知,变压器中性点接地时200~800 Hz声级数值比变压器中性点未接地时显著增大。2号主变压器接地、1号主变压器不接地方式时2号主变压器最高噪声比1号主变压器高约10 dB;改变2台主变压器的接地方式,即2号主变压器不接

表2 幸福站主变压器噪声测试结果

单位: 等效声级 dB(A)

主变压器	接地方式	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1号	中性点接地	70.5	69.5	68	69	61.8	64.6	66.3	67	69.5	72.3	70.6
	中性点未接地	57.9	64.1	63.9	62.9	61.1	57.1	59.9	58.8	59.9	65.1	57.1
	差值	12.6	5.4	4.1	6.1	0.7	7.5	6.4	8.2	9.6	7.2	13.5
2号	中性点接地	71.4	76.6	72.9	70.7	70	71.1	73.7	73.9	76.8	72.1	70.5
	中性点未接地	64.1	66.2	64.4	67.9	67.3	67	68.9	68	65.7	63.7	56.8
	差值	7.3	10.4	8.5	2.8	2.7	4.1	4.8	5.9	11.1	8.4	13.7

备注: A 为网络计权的一种。

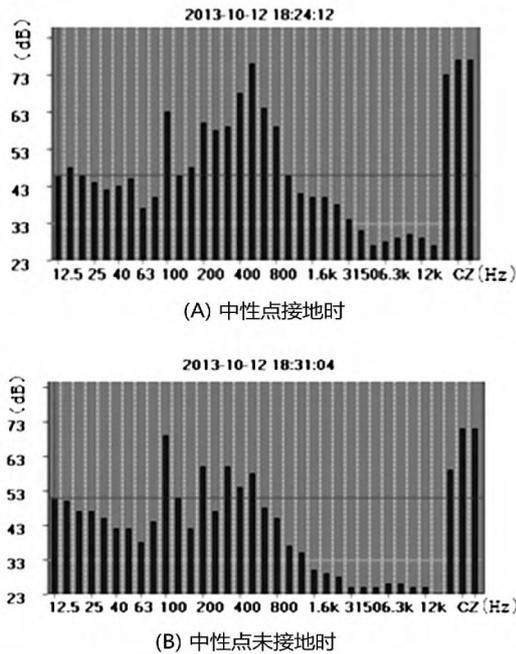


图5 变压器中性点噪声频谱分布图

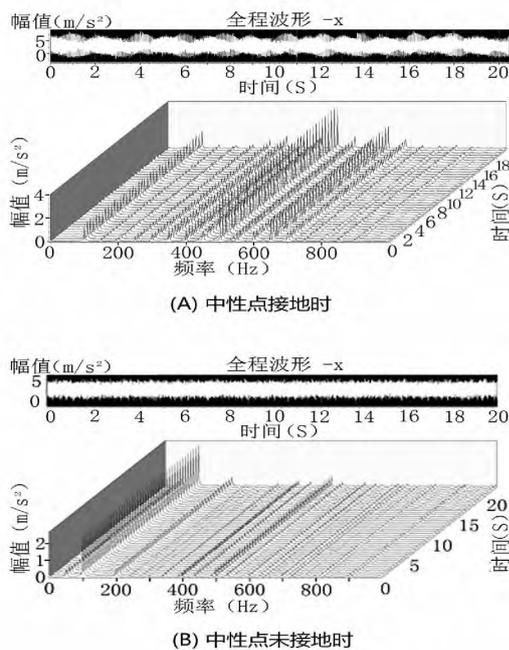


图6 变压器中性点振动瀑布图

地,1号主变压器接地后,2号主变压器噪声随即下

降至正常值,1号主变压器噪声增大约10 dB。

由此可知,可以排除幸福站2台主变压器内部故障引起噪声增大;变压器接地方式是引起噪音增大的原因(中性点接地的变压器会噪声增大,而中性点不接地的变压器不受影响)。

3.2 振动测试及分析

主变压器振动测试是在变压器噪声增大时测试本体油箱壁,图6为变压器中性点未接地和接地时的测试结果。

由图6可知,变压器中性点未接地时,振动加速度主要以100 Hz为主,200~500 Hz有少量分布;变压器中性点接地时振动加速度增大,主要频率以500 Hz为主,同时250~700 Hz加速度均明显增大。

4 变压器中性点电流测试及分析

为分析中性点电流对变压器噪声增大的影响,分别按以下两种运行工况测试了幸福站主变压器中性点电流。

1) 1号主变压器中性点接地,2号主变压器中性点不接地。

测试1号主变压器中性点电流,测试结果见表3。

表3 中性点电流测试结果1

中性点电流分量	220 kV 侧/A	110 kV 侧/A
DC	0.9	0.5
AC	6.6	6.2

表4 中性点电流测试结果2

主变压器	110 kV 侧/A	220 kV 侧/A	噪声
1号	DC	/	0.8
	AC	/	6.6
2号	DC	0.3	/
	AC	5.9	/

2) 1号主变压器220 kV侧中性点接地,110 kV

中性点不接地,2号主变压器110 kV侧中性点接地,220 kV中性点不接地。

该方式可判断直流量的主要路径,测得变压器中性点电流见表4。

测得的变压器中性点交流电流是由于三相不平衡引起,数值未超过变压器零序电流保护整定值,其最大值为6.6 A。

变压器噪声增大时,有约0.9 A的直流量流入变压器绕组,会导致变压器励磁电流畸变,铁心半周磁饱和,引起变压器噪声增大、振动加剧。220 kV侧流入的直流量比110 kV侧大,直流量的主要路径是直接地极与幸福站之间的220 kV线路和大地形成的回路。

5 超/特高压直流偏磁电流对变压器的影响及防护建议

5.1 直流偏磁问题介绍

直流偏磁是指在变压器励磁电流中出现了直流分量,导致变压器铁心半周磁饱和以及由此引起的一系列电磁效应。铁心的高度饱和会使漏磁增加,引起金属结构件和油箱过热,破坏绝缘,影响变压器的寿命;同时,直流偏磁还会导致铁心磁致伸缩更加严重,从而使变压器振动加剧、噪音加大,影响变压器的正常运行^[3-4]。

对于远距离输电的双端直流系统,通常采用双极运行方式。但当直流输电建设初期,为提高经济效益,往往建好一极后即投运,这种直流输电单极运行方式是以大地作为回流电路,此时高达几千安培的电流从直流接地极注入大地,特高压直流输电接地极注入大地的电流甚至更大(达4 kA)^[5-6]。

5.2 直流偏磁电流对幸福站变压器的影响

2013年10月10日6:54,德阳换流站采用单极(极II)大地回路方式运行,10月10日7:30,距离德阳换流站300 km的220 kV幸福变电站2号主变压器(中性点接地)出现噪声增大现象,10月15日18:52,恢复双极运行方式后,幸福站主变压器噪声减小。10月16日7:11,当德阳换流站极II停运,采用单极(极I)大地回路方式运行后,幸福站中性点接地主变压器噪声随即增大。相距约100 km的220 kV榆林站主变压器也出现类似现象,且中性点接地变压器噪声变化与德阳换流站运行方式转换时

间一致。10月21日17:30,德阳换流站恢复双极运行方式后,幸福站和榆林站主变压器噪声恢复正常。

测试及分析表明:当德阳换流站采用单极大地回路方式运行时,地电流流入幸福站和榆林站中性点接地主变压器绕组,导致变压器发生直流偏磁,引起噪声增大、振动加剧。

5.3 四川电网变压器直流偏磁情况

目前,四川电网已投运1座±500 kV超高压换流站,3座±800 kV特高压换流站。当换流站单极大地回路运行时,多个变电站主变压器遭受过直流偏磁电流的影响,如500 kV谭家湾、尖山、泸州、叙府变电站,220 kV幸福、榆林、九岭、桑枣、高桥、百胜等变电站及方山电厂,其中桑枣站主变压器中性点直流量达8 A,谭家湾站主变压器中性点直流量达9 A。

2014年6月18日,特高压宾金直流单极大地回线运行期间,对直流近区500 kV泸州站、500 kV叙府站和220 kV纳溪站、杨桥站、玉观站、林庄站、高石站、龙头站、江南站、城南站等变电站变压器中性点的直流电流做了检测,同时对泸州站主变压器进行噪声、振动检测。测试结果表明:500 kV泸州变电站单台主变压器中性点直流电流最大约为10.2 A,500 kV叙府变电站单台主变压器中性点直流电流最大约为6.6 A,两站主变压器噪声较正常方式下增大13 dB,振动有明显增加。220 kV龙头变电站、220 kV纳溪变电站、220 kV高石变电站中性点直流电流相比其他站点较大,分别达到4.79 A、4.01 A、2.7 A,主变压器噪声、振动较正常方式明显加强,但是均未超过变压器厂家提供的主变压器抗偏磁电流能力。其余220 kV测量站点中性点直流电流均未超过1 A,噪声、振动不明显。

5.4 变压器直流偏磁防护建议

1) 尽量避免长时间直流单极大地回路运行方式,不能避免时应降低直流输送功率或采用单极金属回线运行方式。

2) 在变压器设计阶段,对于承受直流偏磁能力较差的单相三柱和三相五柱式铁心的变压器,建议厂家从结构和材料上增强变压器设备对直流偏磁的耐受能力。

3) 在变压器采购阶段,应将变压器抗直流偏磁能力纳入技术条件,在易出现直流偏磁现象的区域,应避免采购或使用单相三柱铁心结构的变压器。

4) 在变压器运行维护阶段,应按直流偏磁影响

程度的不同有针对性地制定防护措施。对受影响严重的变压器,应制定治理方案,并加强常规检测和其他试验检测,避免慢性损伤的累计效应导致变压器事故。

6 结 论

针对幸福站主变压器噪声增大的情况,进行了红外测温、噪声振动和中性点直流量测试及分析,并对比了主变压器噪声异常时间与某换流站切换单极大地回路运行时间。发现了幸福站主变压器噪声异常的原因是德阳换流站单极大地回路运行时导致该变压器产生直流偏磁现象引起的。目前,四川电网已投运4座超/特高压换流站,直流接地极电流已导致多台变压器发生直流偏磁现象,直流接地极电流导致单相三柱式变压器噪声异常的距离达到300 km,应加强对区内变压器直流偏磁电流的监测和防护。

参 考 文 献

[1] Heywood R J, Emsley A M, Ali M. Degradation of Cellulosic Insulation in Power Transformers. Part 1: Factors

(上接第28页)

[7] 李少华,王秀丽,张望,等.特高压直流分层接入交流电网方式下直流控制系统设计[J].中国电机工程学报,2015,35(10):2409-2416.

[8] 吴彦维,李晔,陈大鹏,等.10 000 MW特高压直流工程受端分层接入交流电网方式下直流控制系统研究[J].电力系统保护与控制,2015,43(18):108-113.

[9] 郭龙,刘崇茹,袁飞龙,等. ± 1100 kV直流系统分层接入方式下的功率协调控制[J].电力系统自动化,2015,39(11):24-30.

[10] 汤奕,陈斌,皮景创,等.特高压直流分层接入方式下受端交流系统接纳能力分析[J].中国电机工程学报,2016,36(7):1790-1800.

[11] 刘心暘,李亚男,邹欣,等.换流母线分段运行对 ± 1100 kV特高压直流输电工程的影响[J].高电压技术,2016,42(3):942-948.

[12] 孙昕,刘泽洪,高理迎,等. ± 800 kV特高压直流工程创新实践[J].中国电机工程学报,2009,29(22):35-

Affecting the Measurement of the Average Viscometric Degree of Polymerisation of New and Aged Electrical Papers [J]. IEE Proceedings: Science, Measurement and Technology, 2000, 147(2): 86-90.

[2] 广东省电力试验研究所.贵广直流单极大地方式对变压器的影响测试简报[M].广州:广东省电力试验研究所,2004.

[3] 蒯狄正,万达,邹云.直流输电地中电流对江苏电网设备影响的分析与处理[J].电力系统自动化,2005,29(2):81-82.

[4] 曾连生.直流输电接地极电流对电力变压器的影响[J].高电压技术,2005,31(4):57-58.

[5] 王明新,张强.直流输电系统接地极电流对交流电网的影响分析[J].电网技术,2005,29(3):9-15.

[6] Wei Jiang, Guangning Wu, Hongliang Wang. Calculation of DC Ground Current Distribution by UHVDC Monopolar Operation with Ground Return [C]. 2008 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, Chicago, USA, 2008: 1-5.

作者简介:

蒋伟(1979),博士,主要从事高电压与绝缘技术方面的研究。

(收稿日期:2016-10-03)

45.

[13] 胡铭,田杰,曹冬明,等.特高压直流输电控制系统结构配置分析[J].电力系统自动化,2008,32(24):88-92.

[14] CIGRE Working Group B4.41. Systems with Multiple DC Infeed [R]. CIGRE, 2008.

[15] Paulo Fischer de Toledo, Bernt Bergdahl, Gunnar Asplund. Multiple Infeed Short Circuit Ratio - aspects Related to Multiple HVDC into One ac Network [C]. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition, Dalian, China, 2005.

作者简介:

刘天宇(1992),硕士研究生,研究方向为高压直流输电技术、电力系统稳定及其控制;

王渝红(1971),教授、硕士生导师,研究方向为高压直流输电、电力系统稳定与控制、新能源并网方式;

李瑾(1991),硕士研究生,研究方向为高压直流输电、电力系统稳定及其控制。

(收稿日期:2016-10-27)