

不同换流站 Y/Y 型换流变压器置换分析与实践

张鹏¹, 刘红太¹, 林睿¹, 欧开健², 孙勇¹

(1. 南方电网超高压输电公司广州局, 广州 510405; 2. 南方电网技术研究中心, 广州 510623)

摘要: 由于±500 kV 肇庆换流站 Y/Y 型换流变压器故障丧失备用, 有必要探讨用深圳站 Y/Y 型换流变压器与肇庆站 Y/Y 型换流变压器并行的可能性。对两站 Y/Y 型换流变压器的技术规范进行了对比分析, 以及对谐波电流分布进行了 EMTDC 和 RTDS 仿真研究。结果显示, 深圳、肇庆两站换流变压器技术规范具有近似性, 且换流变压器替换前后, 各次谐波的含量和幅值, 包括被替换相(即 U 相)和非替换相(如 V 相), 大体上一致。进而提出了深圳站换流变压器在肇庆站使用时将分接开关档位整体下移一档的实施办法。

关键词: ±500 kV 换流站; 实时数字仿真器(RTDS); 有载分接开关档位; 谐波电流

Analysis and Practice of Replacement of Y/Y Type Converter Transformers at Different Converter Stations

ZHANG Peng¹, LIU Hong-tai¹, LIN Rui¹, OU Kai-jian², SUN Yong¹

(1. Guangzhou Bureau, CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510405, China;

2. CSG Technology Research Center, Guangzhou 510623, China)

Abstract: The Y/Y phase U converter transformer at ±500 kV Zhaoqing Converter Station was damaged, and the station lost its spare transformer, and thus it is needed to study feasibility of the Shenzhen's Y/Y converter transformer being in parallel operation with that of Zhaoqing Converter Station. This paper analyzes the technique criterions of the two transformers in comparison with each other, and carries out EMTDC and RTDS simulations to the harmonic current distributions. It is concluded that the two transformers have similar technique criterions, and the harmonic currents, including the replaced phase (phase U) and the others, are almost the same in the content and breadth for the situations without and with parallel operation. Furthermore, it is proposed that the parallel operation should be done in the way to lower one step in the on-load tap of converter transformer in Shenzhen Converter Station.

Key words: ±500 kV converter station; real-time digital simulator (RTDS); position of on-load tap changer; harmonic current

2007年10月18日, ±500 kV 肇庆换流站 Y/Y 型换流变压器 U 相 1.1 套管发生故障, 造成换流变压器严重损坏, 致使肇庆站 Y/Y 型换流变压器丧失备用。因为制造新的换流变压器或维修这台换流变压器需要至少 1 年时间, 所以开展以深圳换流站 Y/Y 型换流变压器替换肇庆站 Y/Y 型换流变压器运行的研究。

深圳站、肇庆站 Y/Y 型换流变压器均为 Y_N/Y_0 接法, 变比差值不超过±0.5%, 短路阻抗百分比相同, 以深圳站 Y/Y 型换流变压器顶替肇庆站 Y/Y 型换流变压器使用的可行性很大^[1]。

1 分接开关技术指标比较

1.1 两站换流变压器技术规范对比

通过对两个换流站换流变压器技术规范进行对

比, 发现关键差异是:

- 1) 深圳站换流变压器正档位比肇庆站多 2 个档位;
- 2) 阀侧额定电压相差 1.2%, 几乎正好相差 1 个档位。

此外, 2 台换流变压器的损耗水平、过载能力等均无大的差异, 与各自配备的冷却系统相配套均可正常使用。

1.2 两站换流变压器分接开关对比

为了避免分接开关档位不同给替换运行带来设备和系统问题, 特别对分接开关的控制进行了详尽研究^[2-3]。通过对比发现:

- 1) 2 台换流变压器分接开关型号相同, 级差相同, 电压调节范围基本相同, 互换使用无原则上问题;

2) 2 台换流变压器阀侧额定电压相差 1.21% (深圳站为 196.5 kV, 肇庆站为 198.9 kV), 近乎相差 1 个档位, 同时深圳站换流变压器有 25 档, 肇庆仅 23 档^[4]。

2 仿真研究

2.1 替换后谐波特性研究

使用南方电网仿真实验室的 EMTDC 程序、RTDS 实时数字仿真系统进行了仿真分析^[5-6]。结果表明, 换流变压器替换前后, 各次谐波的含量和幅值总体来看没有显著变化, 各次谐波中 5 次谐波最大, 7 次谐波次之, 而且被替换相 (即 U 相) 和非替换相的各次谐波的含量和幅值也大体一致。

与替换前相比, 换流变压器替换后, 5 次谐波约有 1.8% 左右的波动, 7 次谐波约有 3.5% 左右的增幅。

根据贵广 I 回直流输电系统研究报告^[7-8], 本次替换造成的谐波波动是很小的, 故现有滤波器能满足滤波要求。

考虑到正常运行方式下有 1 小组交流滤波器的冗余度, 现有的交流滤波器配置可以满足替换后的谐波增加量对滤波器的配置需求^[9]。

2.2 替换后分接头控制分析

将肇庆站极 II 的 Y/Y 换流变压器的分接头档位由 -6—16 档改为 -6—18 档, 仿真结果显示:

1) 当肇庆站极 II 在进入“STANDBY”状态时, 如果换流变压器仍在 18 档或 17 档, 则工作站将显示换流变压器“OLTC FAULT”, 此问题可以通过修改工作站程序和极控程序排除, 也可通过现场手动将分接头调至 16 档来解决。仿真结果表明运行人员手动将深圳站的换流变压器分接头由 18 档调节到 16 档后, 极 II 能够顺利到达“STANDBY”状态, 并能顺利解锁。

2) 当直流系统 400 kV 或 350 kV 降压运行时, 肇庆站换流变压器分接头会自动调高, 但即使将模型中分接头档位由 -6—16 改为 -6—18, 但在不修改极控程序的条件下, 分接头调至 16 档后不会再继续调高, 即运行过程中不会出现各相换流变压器分接头失步的问题, 运行状态和替换前一样。

3) 贵广 I 回直流系统额定运行时, 逆变侧交流电压升高, 也会使换流变压器分接头调高, 但只有交流电压达到 620 kV 以上时, 分接头才可能调

至 16 档。而逆变侧交流电压一般不会长时间达到 620 kV 以上, 因此, 肇庆站换流变压器的替换, 可不考虑正常运行时的分接头控制问题^[10]。

由于深圳站换流变压器和肇庆站换流变压器阀侧额定电压相差 1.21% (近乎相差一个档位), 因此, 如果将将被替换的深圳站换流变压器分接头基准档位由 0 档变为 -1, 即将深圳站换流变压器分接头整体下移一档, 则当逆变侧交流母线电压为 525 kV 时, 其阀侧电压为 $196.5 \text{ kV} \times 1.0125 = 198.96 \text{ kV}$, 这跟肇庆站换流变压器阀侧额定电压 198.9 kV 几乎一样, 这样可以保持三相电压平衡运行, 减少运行不平衡度。这样平移之后的运行情况会比本次仿真的结果更加理想。

分接头的位置由电阻值的大小来指示, 分接头变送器将电阻值转化为电信号送给控制系统^[11]。深圳站的分接开关 BCD 码的序列为“1, ..., 13, 13, 13, ..., 25”的特殊排列^[12], 经研究, 可通过新增简单装置的办法, 将原 BCD (binary-code-decimal) 码系统的输出信号改为“0, 1, ..., 12, 12, 12, ..., 24”^[11]。从而可以给肇庆站站控系统送分接开关整体下移一档的分接开关信号, 即将原 1 档变为基准档位 N 档。这样改进后的换流变压器在深圳站使用时只要接原信号线, 就不会影响其在深圳站的正常使用。

这样平移后也有以下问题需要注意:

1) 由于深圳站换流变压器和肇庆站换流变压器额定容量有差别, 阻抗有差别, 平移后并联运行仍有轻微的不平衡问题。

2) 关于长期运行电压的问题: 按照换流变压器运行规范, 其阀侧运行电压不能长期大于其额定电压的 1.035 倍, 对于深圳站换流变压器, 即为 $196.5 \text{ kV} \times 1.035 = 203.38 \text{ kV}$, 基准档位由 0 档变为 -1 档后, 虽然其阀侧运行电压达到 198.96 kV, 但比 203.38 kV 略低, 满足规范要求。

3) 基准档位由 0 档变为 -1 档后, 深圳站换流变压器最多只能向下调整至 -5 档。贵广 I 回直流输电系统额定运行时, 逆变侧交流电压降低, 会使换流变压器分接头调低, 当交流电压低至 492 kV 时, 分接头才可能调至 -5 档。按设计值, 交流系统电压降低至 485.6 kV 时, 肇庆站换流变压器分接头调节到 -6 档^[3], 除非交流系统发生大的故障, 否则主系统电压不会长时间低于 500 kV 运行。因此, 肇庆站

换流变压器替换,可不考虑正常运行时的分接头控制问题。

3 可行性小结

从换流变压器的各项技术规范来看,深圳站换流变压器正档位比肇庆站多2个档位,阀侧额定电压相差1.2%,即近乎相差一个档位。其余指标无大的差异,且与各自配备的冷却系统相配套均可正常使用。技术规范近似性是设备替换的技术基础。

仿真分析显示,换流变压器替换前后,各次谐波的含量和幅值总体看来没有太大变化,而且被替换相(即U相)和非替换相(如V相)的各次谐波的含量和幅值也大体一致^[13]。

将被替换的深圳站换流变压器分接头基准档位由0档变为-1档,即将深圳站换流变压器分接头整体下移一档,则当逆变侧交流母线电压为525 kV时,其阀侧电压为 $196.5 \text{ kV} \times 1.0125 = 198.96 \text{ kV}$,与肇庆站换流变压器阀侧额定电压值198.9 kV几乎一样,这样可以保持三相电压平衡运行,减少运行不平衡度^[14-15]。

4 结语

本文从有载分接开关技术特点,根据对深圳、肇庆两站换流变压器有载分接开关的对比分析,在不采取平移有载分接开关档位的条件下通过使用南方电网的EMTDC和RTDS仿真系统进行仿真研究,得出可以使用深圳站Y/Y型换流变压器替换肇庆站Y/Y型换流变压器运行的结论。

在可行性论证的基础上,进一步提出了深圳站换流变压器在肇庆站使用的具体实施办法:将分接开关档位整体下移一档。

同时分析讨论了替代运行后可能产生的分接开关失步,换流变压器间产生环流电流等技术问题的应对措施,确保替换运行的安全性和可靠性。

参考文献:

- [1] 谢毓城. 电力变压器手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [2] 南方电网超高压输电公司广州局. $\pm 500 \text{ kV}$ 贵广二回直流输电系统深圳换流站运行规程[Z]. 广州:南方电网超高压输电公司广州局, 2007.
- [3] 南方电网超高压输电公司广州局. $\pm 500 \text{ kV}$ 贵广直流输电系统肇庆换流站运行规程[Z]. 广州:南方电网超高压输电公司广州局, 2007.
- [4] 吴宏波, 宋述波, 袁鹏, 等. 肇庆换流站换流变分接头控制原理

- 介绍[J]. 高电压技术, 2006, 32(9): 160-162.
- WU Hong-bo, SONG Shu-bo, YUAN Peng, et al. Introduction of Converter Transformer Tap Changer Control in Zhaoqing Converter Station [J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(9): 160-162.
- [5] 许加柱, 罗隆福, 刘福生, 等. 新型换流变压器的谐波电流分析与计算[J]. 高压电器, 2006, 43(1): 45-48.
 - XU Jia-zhu, LUO Long-fu, LIU Fu-sheng, et al. Analysis and Calculation of Harmonic Currents in the Novel Converter Transformer[J]. High Voltage Apparatus, 2006, 43(1): 45-48.
 - [6] 欧开健, 黄立滨, 等. 交直流电力系统仿真技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2007.
 - [7] Siemens. AC Filter Performance and Rating, Study Reports for Zhaoqing Station [R]. Germany: Siemens, 2004.
 - [8] Siemens. AC Filter Performance and Rating Appendix 1, Study Reports for Zhaoqing Station [R]. Germany: Siemens, 2004.
 - [9] 余建国, 彭饱书, RIEDEL P, 等. 贵广直流输电工程的设计与实施[J]. 南方电网技术研究, 2005, 1(3): 10-14.
 - YU Jian-guo, PENG Bao-shu, RIEDEL P, et al. Design and Implementation of Gui-Guang HVDC Transmission System [J]. CSG Technology Research, 2005 1(3): 10-14.
 - [10] 李颖, 韦斌, 贺仁睦. 有载调压变压器对中长期电压稳定性影响的仿真研究[J]. 现代电力, 2005, 22(2): 25-28.
 - LI Ying, WEI Bin, HE Ren-mu. Simulation of ULTC Effect on Mid-long Term Voltage Stability in Power Systems[J]. Modern Electric Power, 2005, 22(2): 25-28.
 - [11] REINHAUSEN. On-Load Tap Changer Type 51, Operationg Instructions, Zhaoqing Station [R]. Germany: MR, Siemens, 2007.
 - [12] REINHAUSEN. On-Load Tap Changer Type 51, Operationg Instructions, Shenzhen Station [R]. Germany: MR, Siemens, 2007.
 - [13] 罗隆福, 李季, 许加柱, 等. 基于新型换流变压器的谐波治理研究[J]. 高压电器, 2007, 42(2): 96-98.
 - LUO Long-fu, LI Ji, XU Jia-zhu, et al. Study on Harmonic Treatment based on New Type Converter Transformer[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 42(2): 96-98.
 - [14] 彭志炜, 胡国根, 韩祯祥. 有载调压变压器对电力系统稳定性的影响[J]. 中国电机工程学报, 1998, 18(6): 33-37, 67.
 - PENG Zhi-wei, HU Guo-gen, HAN Zhen-xiang. Power System Voltage Stability Affected by On-load Tap Changer [J]. Proceedings of the CSEE, 1998, 18(6): 33-37, 67.
 - [15] 李峰峰, 邵能灵. 国家电网直流输电系统换流变运行情况分析[J]. 华东电力, 2007, 35(1): 58-60.
 - LI Feng-feng, SHAO Neng-ling. Operational Analysis of Converter Transformers of DC Transmission Systems of SGCC [J]. East China Electric Power, 2007, 35(1): 58-60.

收稿日期: 2008-08-13

作者简介:

张鹏(1954-), 男, 江苏人. 高级工程师, 硕士, 从事高压直流输电系统技术管理工作。

刘红太(1974-), 男, 湖北孝感人. 工程师, 从事系统规划设计、变电站运行、变电检修工作. E-mail: liuhut@spsc.com.cn.

林睿(1977-), 男, 广东电白人. 高级工程师, 双学士, 从事高压直流输电系统维护管理工作。