

500 kV 变电站自耦变压器 公共绕组运行工况分析

侯有韬¹, 张丽丽²

(1. 云南电力调度中心, 云南 昆明 650011;

2. 华北电力大学 计算机科学与技术学院, 河北 保定 071003)

摘要: 针对电网内自耦变压器不同运行工况, 详细分析了自耦变压器公共绕组的运行特性及其负载特性。以 500 kV 自耦变压器为例, 分析了在自耦变压器不同运行工况下, 功率因数和低压侧无功补偿容量对公共绕组负载能力的影响, 并得出结论: 主变在中压侧向高压侧送电工况下投入低压电抗器, 或在高压侧向中压侧送电工况下投入低压电容器, 都会增加主变公共绕组的负担, 使主变的负载能力下降。针对电网内现有的无功补偿装置可能产生的副作用, 并根据电网的实际情况提出解决方案, 即改善系统功率因数, 减少主变低压侧无功补偿装置的投入。

关键词: 自耦变压器; 公共绕组; 过负荷

中图分类号: TM 411+3

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)11-0043-03

云南电网的主网架是 500 kV 倒“日”字形环网, 由 6 个 500 kV 变电站组成。500 kV 变电站主变均由单相自耦变压器构成, 且都作为联络变运行^[1]。在实际运行中, 各个站内的主变运行工况各异, 主变传输功率较重, 功率因数在峰谷时段差异较大, 调整电压时无功补偿设备的投退较频繁。这就使得自耦变公共绕组的负荷在大范围内变动, 甚至会造成公共绕组过负荷告警。就这一问题, 本文选取了 2 个典型站进行了分析。

1 公共绕组负荷分析^[2-4]

单相三绕组自耦变压器电流分布如图 1 所示。

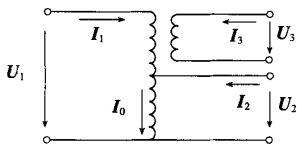


图 1 单相三绕组自耦变压器电流关系

Fig.1 Current relationships of single-phase three-winding autotransformer

图中, I_1 、 I_2 、 I_3 分别为高、中、低压侧相电流; I_0 为流过公共绕组的电流。

$$I_1 + I_2 = I_0 \quad (1)$$

高、中压两侧变比为

$$K_{12} = U_1 / U_2 \quad (2)$$

忽略激磁电动势, 高、中、低压侧传输的有功、无功关系为

$$P_1 + P_2 + P_3 = 0 \quad (3)$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \quad (4)$$

公共绕组视在功率可推导为

$$\bar{S}_0 = 3 U_2 I_0 = 3 K_b P_1 + 3 P_3 + 3 j (K_b Q_1 + Q_3) \quad (5)$$

式中 K_b 为效益系数。

$$K_b = 1 - 1/K_{12} \quad (6)$$

因此, 公共绕组的负荷为

$$S_0 = 3 \sqrt{(K_b P_1 + P_3)^2 + (K_b Q_1 + Q_3)^2} \quad (7)$$

由式(3)(7)可得:

$$S_0 = 3 \sqrt{[K_b P_2 - (1 - K_b) P_3]^2 + [K_b Q_2 - (1 - K_b) Q_3]^2} \quad (8)$$

由于公共绕组的额定负荷为

$$S_{0N} = K_b S_{1N}$$

如果自耦变压器的运行工况为高压侧和低压侧同时向中压侧送有功和滞后无功, 当高压侧达到额定功率时, 公共绕组已经过负荷; 如果自耦变压器的运行工况为高压侧同时向中、低压侧送有功和滞后无功, S_0 始终小于 S_{0N} , 即使高压侧达到额定功率, 公共绕组也不会过负荷; 如果自耦变压器的运行工况为中压侧和低压侧同时向高压侧送有功和滞后无功, 即使中压侧达到额定功率, 公共绕组也不会过负荷; 如果自耦变压器的运行工况为中压侧同时向高压侧和低压侧送有功和滞后无功, 当中压侧达到额定功率时, 公共绕组已经过负荷。

2 举例分析^[5-8]

2.1 500 kV 宝峰变电站

宝峰变电站是昆明地区和玉溪地区的重要电力下网节点, 供昆明南部及玉溪地区的大部分负荷。站内有 2 台 500 kV 自耦联络变并联运行, 联络 500 kV 和 220 kV 电网, 高峰时段由 500 kV 传输到 220 kV 的有功大于 800 MW。以 500 kV 宝峰变电站 1 号主

变为例,其参数如下:

a. 额定容量 $3 \times (250/250/60) \text{ MV} \cdot \text{A}$;

b. 额定电压 $\frac{525}{\sqrt{3}} / \frac{230}{\sqrt{3}} \pm 2 \times 2.5\% / 35 \text{ kV}$;

c. 35 kV 侧无功补偿装置电容器 $6 \times 40 \text{ Mvar}$, 电抗器 $4 \times 45 \text{ Mvar}$ 。

根据当前分接头的实际位置,可知:

$$K_{12}=2.17, K_b=1-1/K_{12}=0.54$$

$$S_{\text{ON}}=K_b S_{\text{IN}}=405 \text{ MV} \cdot \text{A}$$

此变压器的正常运行工况为高压侧向中压侧送电。

a. 低压侧投电抗器时,高压侧也向低压侧送滞后无功,根据上述分析,在这种情况下主变公共绕组不会过载,且随着投入电抗器容量的增加,公共绕组的负载会越来越轻。高压侧功率因数对公共绕组负载的影响相比之下也变得很小。

b. 低压侧投电容器时,相当于低压侧向中压侧送滞后无功。当公共绕组达到额定容量时,高压侧功率因数的变化与高压侧传输功率的关系如图2所示。图中, P 为高压侧可输入有功功率值, Q_c 为投入电容器组容量, λ 为功率因数。

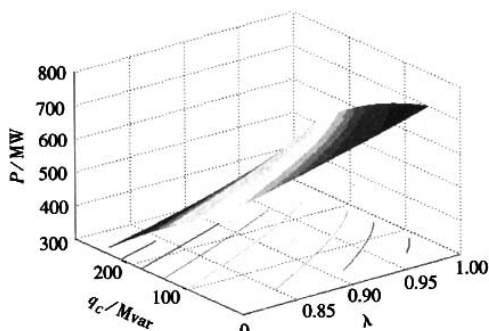


图2 P 与 Q_c 、 λ 的关系

Fig.2 Relationships among P , Q_c and λ

对其中的典型点采集的有功功率值如表1所示。

表1 高压侧可输入有功功率值

Tab.1 Possible input active powers at HV side

Q_c / Mvar	P / MW				
	$\lambda=0.8$	$\lambda=0.85$	$\lambda=0.9$	$\lambda=0.95$	$\lambda=0.99$
40	560	599	640	684	725
80	518	559	603	652	704
120	473	514	560	614	675
160	424	565	511	569	638
200	370	409	456	515	592
240	312	348	393	453	535

从表1中可以看出,当 λ 一定时,每投入1组电容器, P 都会有明显的下降,即主变的降压输送能力有较大幅度的下降。而且随着 λ 的下降,电容器组的投入对主变降压输送能力的限制越来越大。当 λ 为0.99,投入3组电容器时,输入功率受限68 MW;而当 λ 为0.8,投入3组电容器时,输入功率受限127 MW。

在0.8的低功率因数下投入6组电容器,高压侧只能输送312 MW有功功率,只是额定有功功率的一半。输送能力受到很大限制。

2.2 500 kV 曲靖变电站

曲靖变电站是位于东部的一个节点,是东部装机容量为2400 MW 火电厂电力送出的重要关口,更是“西电东送”的重要通道。站内有500 kV、220 kV、35 kV 3个电压等级,1台自耦变压器作为联络变,是由3个单相自耦无载变压器组成的,500 kV 电压等级和220 kV 电压等级联络运行,35 kV 侧供的负荷为无功补偿装置(只有低压电抗器)和站用电。由于东部火电大多是由220 kV 电压等级送出,通过220 kV 环网系统供给省内负荷,通过曲靖变的主变升到500 kV 系统送往广东。因此,曲靖变的主变在正常运行方式下潮流是由中压侧向高压侧和低压侧送电。特别是在220 kV 环网系统由于线路检修或线路故障受到破坏时,曲靖变的主变潮流将会更重。公共绕组的过负荷问题也变得更突出。1号主变的参数如下:

a. 额定容量 $3 \times (250/250/60) \text{ MV} \cdot \text{A}$;

b. 额定电压 $\frac{525}{\sqrt{3}} / \frac{230}{\sqrt{3}} \pm 2 \times 2.5\% / 35 \text{ kV}$;

c. 35 kV 电抗器容量 $3 \times 45 \text{ Mvar}$ 。

根据当前分接头的实际位置,可得:

$$K_{12}=2.24, K_b=1-1/K_{12}=0.554$$

$$S_{\text{ON}}=K_b S_{\text{IN}}=416 \text{ MV} \cdot \text{A}$$

此变压器的正常运行工况为中压侧向高压侧送电。当公共绕组达到额定负荷时,中压侧的可输入有功功率与中压侧功率因数、低压侧投入的电抗器容量之间的关系计算如图2所示。

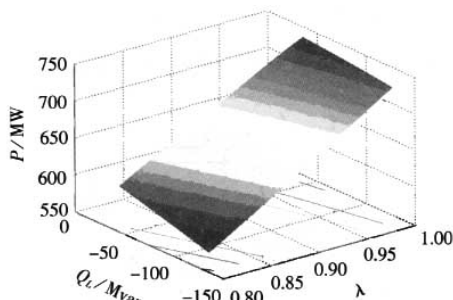


图3 P 与 Q_l 、 λ 的关系

Fig.3 Relationships among P , Q_l and λ

对其中的典型点进行采集得到中后侧可输入有功功率值如表2所示, Q_l 为投入电抗器组容量。

表2 中压侧可输入有功功率值

Tab.2 Possible input active powers at MV side

Q_l / Mvar	P / MW				
	$\lambda=0.8$	$\lambda=0.85$	$\lambda=0.9$	$\lambda=0.95$	$\lambda=0.99$
45	583	622	661	702	737
90	564	604	645	689	730
135	545	585	627	674	721

从表中也可以看出,电抗器的投入和功率因数的降低都影响着中压侧向高压侧的输送功率^[9]。

3 解决方案

根据以上分析,要提高主变传输功率,使其免受公共绕组负载的限制,有2种方法:

- a. 提高输入侧功率因数;
- b. 降低低压侧投入的无功补偿容量。

对于当前云南电网的实际情况,无功分布还不够合理,造成无功功率的远距离传输和大量无功功率穿越主变的现象,而且在每天的高峰时段和低谷时段差别很大,使功率因数在一天内有较大幅度的变化。因此,首先要从改善电网结构,改善有功和无功分布入手来提高功率因数,抑制功率因数的大幅度波动。随着电网的发展,功率因数一定可得到改善。

由于500 kV变电站无功补偿设备的单组容量较大,单组电容器或电抗器的投退对主变传输能力的影响更大。因此在调压时,要合理选择调压手段,尽量避免主变在中压侧向高压侧送电工况下投入低压电抗器,在高压侧向中压侧送电工况下投入低压电容器。减少低压无功补偿装置对主变公共绕组所产生的副作用。

参考文献:

- [1] 周海鹏. 变电所中自耦变压器选用的讨论[J]. 安徽电力职工大学学报,2002,7(1):79-81.
ZHOU Hai-peng. Discussion of selection coupling transformer in power substation[J]. Journal of Anhui Electric Power College for Staff,2002,7(1):79-81.
- [2] 王长生,周振堂. 电力自耦变压器公共绕组过负荷分析[J]. 东北电力学院学报,2002,22(2):80-83.
WANG Chang-sheng,ZHOU Zhen-tang. Analysis of electric power coupling transformer public winding overload [J]. Journal of Northeast China Institute of Electric Power Engineering, 2002,22(2):80-83.
- [3] 吕志宁,吴海涛. 自耦变压器公共绕组过负荷原因分析[J]. 广东电力,2003,16(1):38-40.
LÜ Zhi-ning,WU Hai-tao. Analysis of power coupling transformer public winding overload reason[J]. Guangdong Electric Power,2003,16(1):38-40.
- [4] 毛雪雁,宣晓华. 500kV自耦变压器中性点小电抗接地的研究[J]. 华东电力,2005,33(5):26-29.
MAO Xue-yan,XUAN Xiao-hua. 500 kV auto-transformer with neutral point grounded through small reactance[J]. East China Electric Power,2005,33(5):26-29.
- [5] 侯勇. 巧用自耦变压器提高线路输电能力[J]. 农村电气化,2005(3):17-18.
HOU Yong. Raise the wire transmit electricity ability using coupling transformer[J]. Rural Electrification,2005(3):17-18.
- [6] 赵亮亮,陈超英. 电力系统暂态仿真中自耦变压器模型的研究[J]. 电力系统及其自动化学报,2004,16(1):83-88.
ZHAO Liang-liang,CHEN Chao-ying. Study of model of three-phases auto-transformer in electric system transient simulation [J]. Proceedings of the EPSA,2004,16(1):83-88.
- [7] 燕立,盛志宁,盛和乐. 500 kV变电所主变压器保护用电流互感器选择及计算[J]. 华北电力技术,2004(1):46-54.
YAN li,SHENG Zhi-ning,SHENG He-le. Selection and calculation for CT of main transformer protection in 500 kV substation [J]. North China Electric Power,2004(1):46-54.
- [8] 赵泽益,冯志彪. 电力自耦变压器二输出负载的数字实时仿真[J]. 同济大学学报:自然科学版,2003,31(11):1342-1347.
ZHAO Ze-yi,FENG Zhi-biao. Real-time digital simulation of two output normal-loaded power auto-transformer[J]. Journal of Tongji University:Natural Science,2003,31(11):1342-1347.
- [9] 赵建中. 自耦变压器在大庆电网中的应用[J]. 中国电力,2002,35(2):75-78.
ZHAO Jian-zhong. Application of autotransformer in Daqing power grid[J]. Electric Power,2002,35(2):75-78.

(责任编辑:康鲁豫)

作者简介:

侯有韬(1978-),男,吉林蛟河人,硕士,从事电网调度工作(E-mail:hyt_d@sina.com);
张丽丽(1977-),女,黑龙江哈尔滨人,硕士,研究方向为计算机在电力系统中的应用。

Analysis of autotransformer common winding operational conditions in 500 kV substations

HOU You-tao¹,ZHANG Li-li²

(1.Yunnan Electric Power Dispatching Center,Kunming 650011,China;

2.North China Electric Power University,Baoding 071003,China)

Abstract: Operational features and load characteristics of autotransformer common winding under different work conditions are analyzed in detail. With 500 kV autotransformers as examples,the influence of power factor and reactive compensation capacity at low voltage side on the load ability of common winding is analyzed and the conclusion is got:putting LV (Low Voltage) reactor into operation when power is sent from MV (Middle Voltage) side to HV (High Voltage) side of main transformer or putting LV capacitor into operation when power is sent from HV side to MV side of main transformer will increase the load of its common winding and lower the load ability of main transformer. Aiming at the by-effect of reactive compensation device,solutions are put forward according to actual situation of power grid:improving the system power factor and reducing the reactive compensation capacity at the LV side of the transformer.

Key words: autotransformer; common winding; overload