

110kV 社头变电容器差压保护频繁动作原因分析思考

颜旭辉

(常州供电公司金坛县域检修分公司, 江苏 常州 213200)

摘 要: 本文通过对一起具体的电容器保护动作案例分析, 探讨了组合式电容器电抗率取值对谐波放大及系统谐振的具体影响, 经过系统的模拟计算提出了避免措施, 经现场实施检验, 取得了较好的效果, 保证了电网的安全稳定运行。

关键词: 电抗率; 电容器; 三次谐波; 谐振

0 引言

串联电抗器是电容器装置的重要组成部分, 对抑制谐波与限制涌流有着重要的作用。在经济快速发展的今天, 地区供电负荷中日益加入了大量的非线性负载, 中频炉、大型轧钢机等谐波污染源的不断投运, 对电网的安全稳定运行造成了日趋严重的危害。一些老旧变电所的电容器无功补偿设计中串联电抗器的选择是根据当时的电网负荷参数进行设计的, 在实际的运行过程中我们应加强对谐波污染较严重地区的监测, 根据电容器组接入母线处谐波负荷的变化及时调整原有电容器中串联电抗器的系数选择, 从而避免电容器的接入运行对电网谐波的过度放大和谐振的发生。

1 电容器差压保护频繁动作原因的初步分析

2011 年 4-5 月间, 常州金坛地区 110kV 社头变 10kV 2#电容器不平衡电压频繁动作, 经现场检查, 正常运行时不平衡电压并不是太大, 开口二次值一般在 2V 以下 (整定值为 6V)。电容器一次接线如图 1。

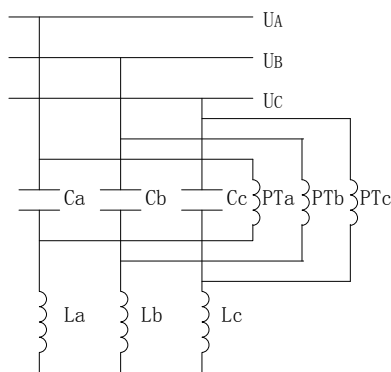


图 1 电容器一次回路图

PTa、PTb、PTc 二次头尾短接作为不平衡电压开入, 由于正常时开口电压并不大, 因此估计一次电容等效负载阻抗是平衡的, 5 月底, 对该段电容器进行了停电检修, 实测各相各单只电容量均在正常范围内 (+10%至-5%), 总电容量在各相之间相比偏差也是比较微小的, 同时用下列公式计算出了等效回路图中的 PT 一次各相电压以验证停电前采样值的 2V 以下是否正确:

$$Z_a = j\omega L_a + 1/j\omega C_a$$

$$Z_b = j\omega L_b + 1/j\omega C_b$$

$$Z_c = j\omega L_c + 1/j\omega C_c$$

$$\text{星点电压 } U_o = (U_a/Z_a + U_b/Z_b + U_c/Z_c) / (1/Z_a + 1/Z_b + 1/Z_c)$$

$$\text{则 PT 一次电压为: } U_{PTa} = (U_a - U_o) * [(1/j\omega C_a) / (j\omega L_a + 1/j\omega C_a)]$$

$$U_{PTb} = (U_b - U_o) * [(1/j\omega C_b) / (j\omega L_b + 1/j\omega C_b)]$$

$$U_{PTc} = (U_c - U_o) * [(1/j\omega C_c) / (j\omega L_c + 1/j\omega C_c)]$$

根据 PT 三相电压相量计算基本电压平衡, 不平衡电压折算至二次侧开口基本平衡, 与停电前不平衡采样值相比偏小, 由于此计算可能数据上有误差: 电容量测量误差、PT 二次变比误差、二次回路压降, 计算值虽无法确定不平衡电压动作原因, 但计算值比采样值 2V 明显低很多还是不正常的。

2 电容器差压保护频繁动作原因的深入分析

不平衡电压保护到底是何原因引起的动作以及为何计算值比实际运行采样值不平衡电压偏低较多? 在做以上反复计算的过程中我得知一重要信息, 社头变 10kV 出线负荷新增一铸钢厂, 该厂内主要负荷均为炼钢用中频炉, 中频炉是系统内三次谐波的产生源, 同时我又注意到两个重要计算条件:

一个是以上计算是基于工频条件下的回路计算，另一个是计算过程中一个较重要的参数： $j\omega L$ ， $j\omega L$ 的值在进行以上验证计算中是通过现场查看电抗器参数及询问变电所设计人员后代入的参数值：电抗率 6%。因此我对系统回路再次进行了分析计算，在 10kV 系统引入了 n 次谐波电流源，经修正后的系统三次谐波回路图为如图 2。

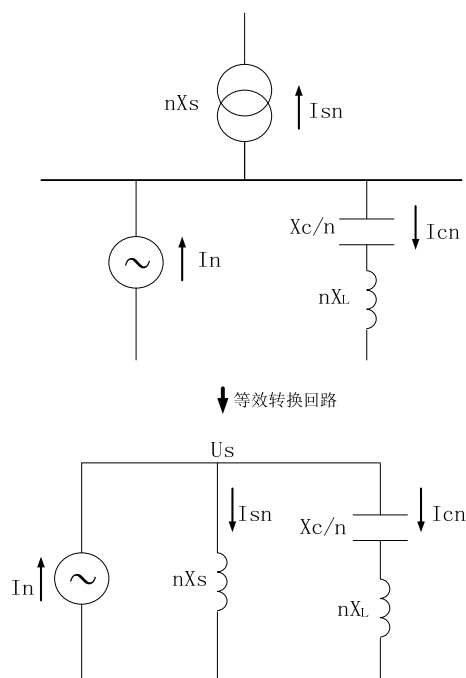


图 2 引入 n 次谐波电流源经修正后一次及等效回路图

用基尔霍夫电流电压定理计算该回路：

$$I_{sn} + I_{cn} = I_n$$

$$I_{cn} * (nX_L - X_c/n) = I_{sn} * nX_s$$

其中 n 为谐波次数，经代入计算母线电压 $U_s = I_{sn} * nX_s = (I_n * X_L * X_s * n^3 - I_n * X_c * X_s * n) / (X_s * n^2 + X_L * n^2 - X_c)$ ，无电容器之前母线电压为 $I_n * X_s * n$ ，设使用电容器后母线电压放大倍数为 F ，则 $F = (I_n * X_s * n) / U_s = (X_L * n^2 - X_c) / (X_s * n^2 + X_L * n^2 - X_c)$ ，设 $K = X_L / X_c$ 即电抗率， $S = X_s / X_c = Q / S_d$ ， Q 为电容器容量， S_d 为 10kV 母线短路容量，则 $F = (K * n^2 - 1) / [(S + K) * n^2 - 1]$ 。

通过以上计算，首先分析在何种情况下系统可能发生并联谐振，因为中频炉主要为 3 次谐波源，因此我们用 3 次谐波代入计算，当电容器支路为容性负载时，该系统可能发生并联谐振，计算 3 次谐波下 K 取何值时 $X_L < X_c$ 情况，则 $K > (1/3) * (1/3)$ ，因此在电抗率在 11.11% 以下时可能发生并联谐振，因电容器电抗率为 6%，所以完全满足并联谐振的要求。

再通过 F 计算的公式计算 $K=6\%$ 时， Q 取何值时该系统将发生并联谐振，通过 F 的公式可知 F 分母等于 0 时发生并联谐振，此时可计算得 $Q = S_d (1/n^2 - K)$ ，代入 $n=3$ ， $K=6\%$ ， $Q = 0.0511 * S_d$ 。查阅调度出具的 2011 年度社头变 10kV 母线短路容量及该段电容器容量，基本接近于计算结果：电容器容量约等于母线短路容量的二十分之一，至此可以基本确认该段电容器的电抗率设计值与容量的大小放大了三次谐波电压，导致电容器不平衡电压中叠加了放大的三次谐波电压，这时电容器组不平衡电压保护的开口三角由于零序分量（三次谐波）的存在具有一定的电压值，这就解释了为何这两个月内该段电容器不平衡电压频繁动作，以及正常运行情况下在仅存在基波源的假设下理论计算的不平衡电压比装置采样不平衡电压低的原因。

3 结束语

3.1 现状的总结

在实际运行过程中电网的运行环境是较复杂的，往往理论的计算是基于常规的理想化计算，与现场实际情况可能存在较大偏差。通过查阅设计规范电容器的电抗率 6% 是经验取值，并未考虑负荷存在三次谐波源，因此当新增负荷存在三次谐波源时，电容器可能造成三次谐波电压的放大，以致电容器不平衡电压的增加甚至动作。

3.2 采取的措施及反思

对于故障的判断我们的思路经常会陷入固有的思路，理论分析应结合现场实际。在电网污染较重地区，三次谐波源较大的环境下，电容器电抗率如果取值增大的话，将使系统并联谐振需要的电容器容量增大，减少谐振可能，如果电抗率取值在 11.11% 以上就可消除并联谐振可能，但为防止电容器运行过程中电容量下降以致电抗率降低，可使电抗率取值在 14%，留有一定裕度一方面杜绝系统并联谐振，另一方面防止电容量下降（单只电容器熔丝熔断）使电抗率降低至 11.11% 引起电容器串联谐振可能。

作者简介：

颜旭辉（1982-），男，江苏宜兴人，工程师，从事继电保护方面工作。