

# 20KV II 母零序电压三次谐波超标分析及解决方案

施红杰 花世其

江苏国信滨海港发电有限公司, 江苏盐城, 224000;

**摘要:** 以一起 20KV 主变综保测控装置电压互感器异常告警为例, 说明三次谐波分量超标是引起装置 TV 异常主要原因, 经过进一步分析得出, 当 TV 中性点装有一次消谐器时会产生电压, 并在母线 TV 零序开口三角三次谐波分量, 进而引起主变综保测控装置发 TV 异常告警, 经深入测试分析计算, 研究问题产生机理, 排除谐波放大和谐振因素, 针对该类异常告警, 本课题测试分析, 提出解决方案, 确保机组安全稳定运行。

**关键词:** TV 异常告警; 主变压器保护; 电能质量; 三次谐波; 二次电压异常; 消谐器

**DOI:** 10.69979/3060-8767.26.03.008

## 引言

国信启东热电公司因受到一次设备的影响, 二次电压包含三次谐波分量, 引起电压波形畸变和开口三角电压升高, 造成主变综保测控装置误发 PT 异常信号、无功测量不准、故障录波器频繁启动、方向元件不正确动作等诸多问题, 为保证主变压器(以下简称主变)正确可靠动作, 接入二次电压须真实反映一次系统电压实时变化, 以防保护装置误跳或拒动, 造成系统故障、缺损大量用电负荷。

现在综保测控保护装置均有电压异常检测能力和零线(N)断线检测功能, 电压异常都是由电压互感器(TV)一二次保险熔断, 二次回路虚接或误接等造成的, 而二次电压本身存在波形畸变引发综保测控装置 TV 告警情况较少。本文以一起 20KV II 母 零序电压三次谐波超标, 2 号主变综保测控装置误发 PT 断线告警信号为例进行分析, 并提出相应对策, 制定安技措施。

## 1 事故状况

启东热电 20KV I, II 段母线开环运行, 发变组单元接线, 自并励励磁方式, 6KV 引风, 一次风, 乙给水泵为高压变频器电机, 400V 盘车, 冷渣机, 冷灰机, 给煤机, 高压水泵等为低压变频器电机, 均为谐波源。2 号发变组 PCS-985-H2 B 柜 综保测控装置时常 PT 断线发信报警, ECMS 电气监控系统显示: 2 号发变组 B 柜高压侧 PT 中线断线。PCS-986 发变组故障录波器启动发信。内部配置定值: 其他 PT 中线断线判别系数 0.3。

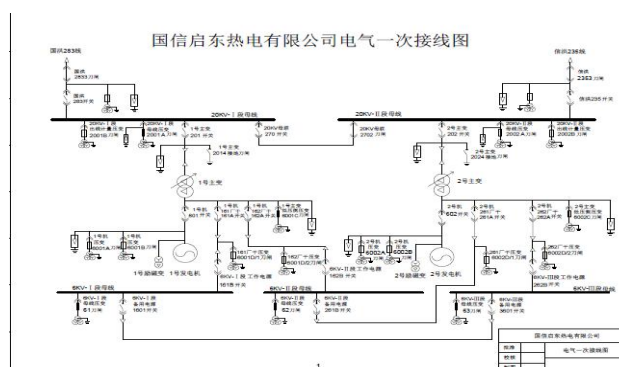


图 1 国信启东热电电气一次接线图

表 1、2 号主变和 20KV II 段母线压变铭牌主要信息

| 项目        | 2 号主变                            | 20KV II 段母线压变                                               |
|-----------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 额定容量 /KVA | 11000                            | JDZX9-24G, 0.2/0.5/3P, 15VA, 极限输出, 200VA                    |
| 额定电压 /KV  | $21 \pm 8 \times 1.25\% / 6.3KV$ | $(20/\sqrt{3}) / (0.1/\sqrt{3}) / (0.1/\sqrt{3}) / (0.1/3)$ |
| 变比        | $21 \pm 8 \times 1.25\% / 6.3$   | $(20/\sqrt{3}) / (0.1/\sqrt{3}) / (0.1/\sqrt{3}) / (0.1/3)$ |
| 接线方式      | Dd0                              | Y0/Y/Y/△-12/11                                              |

## 2 现场检查

通过查阅南瑞继保 PCS-985B 发变组保护装置技术和使用说明可知, 引起综保测控装置三相电压回路中线断线报警动作判据: (1) 正序电压  $U_1 > 48V$  (2) 自产零序电压三次谐波  $3U_0 - 3\omega > K \cdot U_1$ , K 为比率制动系数, 一般取 0.2~0.5。满足判据延时 20S 发相应 PT 断线报警信号, 异常消失, 延时 20S 后信号自动返回。匝间保护专用 PT(PT2)和其他 PT 的比率制动系数可分别整定, 断线判据也可分别投退。满足判据条件, 延时 20S 报

PT 中线断线，并闭锁与电压有关的主变方向复压闭锁过流和发电机失磁保护。

检测 20KV II 段母线压变开口三角侧零序电压为 11.5V,频率为 150HZ，表明开口三角电压是三次谐波电

压，并在发变组故障录波器文件召唤暂稳态波形，实时在线运用谐波分析软件工具，实时监测母线 PT 开口三角零序电压奇偶次谐波分量。

表 2、通过带负荷检查，2 号发变组综保测控装置模拟量采集前后

| 主变各侧电压 1 |             |         |         |
|----------|-------------|---------|---------|
| 1        | 高压侧 A 相电压   | 59.41V  | 61.18V  |
| 2        | 高压侧 B 相电压   | 60.00V  | 60.98V  |
| 3        | 高压侧 C 相电压   | 60.23V  | 61.43V  |
| 4        | 高压侧 AB 相电压  | 103.04V | 105.37V |
| 5        | 高压侧 BC 相电压  | 103.43V | 106.58V |
| 6        | 高压侧 CA 相电压  | 10.78V  | 106.77V |
| 7        | 高压侧正序电压     | 59.81V  | 61.12V  |
| 8        | 高压侧负序电压     | 0.24V   | 0.12V   |
| 9        | 高压侧自产零序电压   | 0.93V   | 0.39V   |
| 10       | 自产零序电压三次谐波  | 11.55V  | 1.93V   |
| 11       | 高压侧开口三角零序电压 | 0.50    | 0.09V   |
| 12       | 低压侧 A 相电压   | 57.46V  | 59.30V  |
| 13       | 低压侧 B 相电压   | 56.85V  | 58.93V  |
| 14       | 低压侧 C 相电压   | 56.85V  | 59.07V  |
| 15       | 低压侧 AB 相电压  | 98.74V  | 101.85V |
| 16       | 低压侧 BC 相电压  | 99.03V  | 101.81V |
| 17       | 低压侧 CA 相电压  | 98.67V  | 102.14V |
| 18       | 低压侧正序电压     | 56.97V  | 59.09V  |
| 19       | 低压侧负序电压     | 0.10V   | 0.11v   |
| 20       | 低压侧自产零序电压   | 1.49V   | 0.37v   |
| 21       | 低压侧开口三角零序电压 | 0.95V   | 0.29v   |
| 22       | 主变过励磁倍数     | 1.037   | 1.060   |
| 23       | 主变过励磁反时限    | 0.00%   | 0.00%   |

表 3、20KV II 段母线三相电压测试数据前后 04.01:04.12

| 项目    | 基波               | 二次谐波           | 三次谐波             | 四次谐波           | 五次谐波           |
|-------|------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|
| UA 前  | 85.796V∠116.420  | 0.09V, 0.1%    | 6.685V, 7.79%    | 0.01V, 0.01%   | 0.182V, 0.21%  |
| UA 后  | 86.658V∠-100.320 | 0.011V, 0.01%  | 0.909V, 1.04%    | 0.009V, 0.01%  | 0.185V, 0.21%  |
| UB 前  | 86.508V∠-4.370   | 0.121V, 0.14%  | 6.851V, 7.91%    | 0.038V, 0.04%  | 0.126V, 0.14%  |
| UB 后  | 86.365V∠139.810  | 0.054V, 0.06%  | 0.906V, 1.05%    | 0.021V, 0.02%  | 0.2V, 0.23%    |
| UC 前  | 87.681V∠-123.320 | 0.082V, 0.09%  | 6.752V, 7.7%     | 0.012V, 0.01%  | 0.184V, 0.21%  |
| UC 后  | 86.862V∠19.990   | 0.078V, 0.09%  | 0.922V, 1.06%    | 0.022V, 0.02%  | 0.165V, 0.18%  |
| 3U0 前 | 1.732V∠-92.250   | 0.164V, 9.53%  | 11.495V, 667.11% | 0.037V, 2.19%  | 0.127V, 7.35%  |
| 3U0 后 | 0.109V∠44.710    | 0.063V, 58.01% | 1.39V, 1270.34%  | 0.018V, 17.14% | 0.027V, 25.06% |

表 4、20KV 235 信洪线三相电流测试数据前后 04.01 19:28;04.12 13:18

| 项目   | 基波              | 二次谐波        | 三次谐波          | 四次谐波        | 五次谐波        |
|------|-----------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| IA 前 | 0.284A∠-142.550 | 0A, 0.06%   | 0A, 0.17%     | 0.0A, 0.01% | 0.0A, 0.31% |
| IA 后 | 0.291A∠-112.30  | 0A, 0.14%   | 0A, 0.29%     | 0.0A, 0.07% | 0.0A, 0.27% |
| IB 前 | 0.278A∠95.520   | 0.0A, 0.08% | 0.001A, 0.55% | 0.0A, 0.04% | 0.0A, 0.25% |
| IB 后 | 0.286A∠125.140  | 0.0A, 0.17% | 0.0A, 0.31%   | 0.0A, 0.09% | 0.0A, 0.14% |
| IC 前 | 0.273A∠-28.070  | 0.0A, 0.09% | 0.0A, 0.3%    | 0.0A, 0.07% | 0.0A, 0.26% |
| IC 后 | 0.278A∠7.780    | 0.0A, 0.08% | 0.0A, 0.24%   | 0.0A, 0.04% | 0.0A, 0.16% |

表 5、2 号主变低压侧零序电压测试数据前后

| 项目    | 基波                      | 二次谐波       | 三次谐波           | 四次谐波        | 五次谐波        |
|-------|-------------------------|------------|----------------|-------------|-------------|
| 3U0 前 | 0.007V $\angle$ -18.760 | 0V, 12.05% | 0.005V, 68.33% | 0.0V, 2.65% | 0.0V, 6.79% |
| 3U0 后 | 0.008V $\angle$ 3.930   | 0V, 3.65%  | 0.003V, 37.12% | 0.0V, 7.73% | 0.0V, 8.44% |

### 3 分析原因

由(图3)可知 20KV II 段母线各相电压均包含 6.6 V 的三次谐波。以 A 相电压为例,三次谐波含有率(HR3) > 10% 根据南瑞继保 PCS-985B 发变组保护装置技术和使用说明书可判断,TV 异常报警是由开口三角处零序电压含有三次谐波分量所致。

为消除谐振,目前非直接接地系统通常采取在 TV 一次中性点接入消谐器,综保测控装置内小 PT 为电压转换装置,可将 TV 取得的二次电压转换成微机保护装置硬件电路能够采集处理的低电压,PTC 正温度系数的热敏电阻,U2A U2B U2C 分别为 TV 二次绕组的三相电压, U3A U3A U3A 分别为装置内经小 TV 电压变换后的三相电压, iAm

iBm iCm 分别为流过 TV 一次绕组的三相一次电流。变压器正常运行时,中性点引入消谐器对二次零序电压带来一定影响。当星形接线的 TV 接入三相对称电压时,流入中性点消谐器电流  $3i_0$  为三相励磁电流向量和,即  $3i_0 = i_{Am} + i_{Bm} + i_{Cm}$ ,励磁电流包含基波和和高次谐波(以三次谐波为主),对基波和三次谐波各自独立分析,若三相 TV 励磁特性完全相同,则各相的基波幅值相同,相位相差 120°,流过中性点的基波电流。 $3i_{01} = i_{Am1} \angle 0^\circ + i_{Bm1} \angle -120^\circ + i_{Cm1} \angle 120^\circ$ ,式中  $i_{Am1}$ ,  $i_{Bm1}$ ,  $i_{Cm1}$  分别为三相基波电流有效值。

而励磁电流中三次谐波相位相同,故经中性点三次谐波电流  $3i_{03} = i_{Am3} \angle 0^\circ + i_{Bm3} \angle -360^\circ + i_{Cm3} \angle 360^\circ = 3i_{m3}$ ,式中  $i_{Am3}$ ,  $i_{Bm3}$ ,  $i_{Cm3}$  分别为三相三次谐波电流有效值。

假设消谐器电阻为 R,则其两端电压  $3U_0 = R(3i_{01} + 3i_{03})$ ,式中  $U_0$  为消谐器电压相量值,  $i_{01}$  为流过中性点的基波电流相量值,  $i_{03}$  为流过中性点的三次谐波电流相量值。

消谐器两端电压由 TV 三相励磁电流的基波分量和谐波分量(主要是三次谐波)之和在其电阻上产生的电压降组成。当三相励磁电流大小不相等时,其电压含有基波和谐波,若三相 TV 的伏安特性完全相同,则基波电压为 0V,但仍有三次谐波电流通过消谐器,产生三次谐波电压  $3U_0 - 3\omega$ ,该电压使中性点电位漂移,叠加到

一次绕组上传变到二次侧,则在二次侧产生三次谐波零序电压。

### 4 解决方案

电能质量技术监督普查测试,检查高压柜端子排至 TV 二次回路接线,确认导通及接地良好,排除二次 N 线断线问题。临时短接中性点消谐器,测量二次电压,HR3 远低于 10%,保护装置 TV 中线断线不发信报警,因此确认中性点消谐器是导致二次电压失真的主要原因。

压变中性点用消谐电阻器,型号: LXQ II-24,通过 AC0.3mA(峰值)电流时电压 346V,标准值  $300 \times 2\% \pm 50 \times 2\%$ , (V),通过 AC 3mA(峰值)电流时电压 965V,标准值  $1000 \times 2\% \pm 150 \times 2\%$ , (V),装在母线 PT 与一次绕组中性点与地之间,上端接中性点,下端固定接地,采用绝缘导线连接,可有效抑制压变铁磁谐振,预防因谐振过电压损坏设备,通过限制涌流,防止压变高压熔断器因过流而熔断。

由上图 5 可知 20KV II 段母线各相电压均包含 6.6 V 的三次谐波。以 A 相电压为例,三次谐波含有率(HR3) > 10% 根据南瑞继保 PCS-985B 发变组保护装置技术和使用说明书可判断,TV 异常报警是由开口三角处零序电压含有三次谐波分量所致。

### 5 结论

现代新型微机综保测控装置,引入 TV 电压 N 线断开自动判别功能,有助于装置自动发现电压回路问题,但本事件表明,N 线断线并不是保护装置 TV 中线断线异常告警的唯一原因,中性点接消谐器也会造成三次谐波超标报警,应引起继电保护自动化运维等相关专业人员高度重视。

针对三次谐波引起 TV 异常告警的情况,应该根据具体情况进行解决,通常的办法有接入 PTC 电阻,更换高品质低阻值消谐器或抗饱和程度好的压变,并加强对主变保护装置日常巡视维护工作。

TV 的二次相电压测量不准,因碳化硅消谐器上会有一个不固定的电压降,最好还是用 4TV 方式,即可以一次自动消谐,也可实现 TV 二次相电压的准确测量。

三次谐波超标，短接后消失。

## 6 总结

经过我们 QC 小组的改造，制定标准化文件，编制了《20KV 母线零序电压三次谐波超标分析及解决方案》。现有公司厂用 6KV 3 段母线,1,2 号发电机出口母线配置二次消谐装置，显著提升电力系统的稳定性，保证电能质量。

消谐器具有非线性电阻特性，当有电容电流流入 PT 一次绕组，运方改变， $X_L=X_C$  匹配关系，触发铁磁谐振。为避免谐振，保护压变装设。普通压变感抗  $X_I$  是固定特性，电流小，铁芯没饱和，感抗大。电流变大后，

铁芯饱和，感抗变小，非线性特性容易与电容形成铁磁谐振，严重导致 PT 击穿，甚至引发爆炸事故。

## 参考文献

- [1] 王维俭 电气主设备继电保护原理及应用 北京中国电力出版社 1998
- [2] GB14285 《继电保护和安全自动装置技术规程》
- [3] ISA-353G 线路光纤纵差电流电压综保测控装置技术和使用说明书 南京南瑞继保电气公司
- [4] 《防止电力生产重大事故的二十五项重点继电保护实施细则》 国家电力公司