

UR T35/T60 变压器差动保护误动分析

方愉冬¹, 杨涛², 吴春娣³

(1. 浙江电力调度通信中心, 浙江 杭州 310007; 2. 浙江电力试验研究院, 浙江 杭州 310004;
3. 镇海发电厂, 宁波 镇海 315208)

摘要: 针对某电厂 T35/T60 变压器差动保护误动, 对保护数据波形和整定值进行了分析。根据波形特征理论分析, 排除了和应涌流引起差动保护误动的可能, 指出系穿越性励磁涌流的非周期分量导致 CT 暂态饱和, 从而引起采用“2-out-of-3”谐波制动方式的差动保护误动。最后针对误动事故, 提出了 T35/T60 保护二次谐波制动方式选择和差动动作曲线整定上应采取的措施。

关键词: 主变差动保护; 励磁涌流; CT 暂态饱和; 误动

Analysis on mal-operation of UR T35/T60 transformer differential protection

FANG Yu-dong¹, YANG Tao², WU Chun-di³

(1. Zhejiang Electric Power Dispatch and Communication Centre, Hangzhou 310007, China;
2. Electric Power Test & Research Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310004, China;
3. Zhenhai Power Plant, Zhenhai 315208, China)

Abstract: The paper analyzes fault data and protection setting during a mal-operation of UR T35/T60 transformer differential protection relay. Based on theoretical analysis of waveform character, possibility of sympathetic inrush resulting in mal-operation is ruled out, and conclusion is drawn that mal-operation was caused by differential protection's "2-out-of-3" 2nd harmonic restraint mode and TA transient saturation due to through-by inrush current. The corresponding solution of mal-operation is proposed on T35/T60 relay percent differential operating characteristic setting and 2nd harmonic restraint choice.

Key words: transformer differential protection; inrush current; CT transient saturation; mal-operation

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)14-0118-04

0 引言

GE UR 系列变压器保护近年在国内新建电厂中应用十分广泛, 其差动保护采用的励磁涌流鉴别原理既有传统的二次谐波原理, 也有改进过的自适应二次谐波原理, 其制动方式也与国内保护有异, 在整定时需根据应用情况合理选择, 否则容易造成差动保护的不正确动作。

1 动作情况

2007年1月8日, 我省某天然气电厂在机组变频启动空投隔离变时, 与其串联运行的上一级启备变第一套保护 T35 B 相差动误动跳闸, 第二套保护没有动作 (型号相同、定值相同)。用 UR Setup 调取 T35 保护录波, 如图 1 所示, 低压侧电流为穿越

性励磁涌流, 高压侧为穿越性涌流与另一分支负荷电流之和, 并怀疑有和应涌流产生。现场初步分析认为系和应涌流的产生和逐渐增大使得 B 相差动进入动作区。因此经相关人员现场讨论后再次启动, 保护未再动作。

1月22日, 厂用电已切换至高压厂变, 同样在空投隔离变时, 与其串联运行的上一级高压厂变第二套差动保护 T60-AUX C 相差动误动跳闸, 第一套保护没有动作 (型号相同、定值相同)。事故后调取保护录波, 如图 2 所示, 与启备变跳闸情况相似, 初步判断也是和应涌流引起, 便再次合闸隔离变, 保护也未再动作。

两次事故虽初步判断系和应涌流引起差动保护误动, 但仍存在诸多疑点:

(1) 为何差动保护会进入比率制动曲线动作

区, 二次谐波原理又没有正确闭锁差动保护;

(2) 既然系和应涌流造成差流产生, 为何动作时仅一相有差流, 且保护动作开关跳开前有一相始终没有差流;

(3) 同型号、同定值的两套保护装置为何一套动作、一套没有动作。

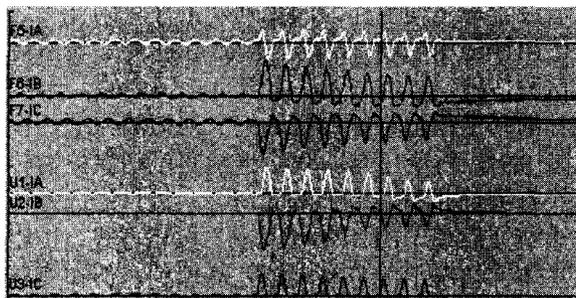


图 1 启备变高、低压侧电流

Fig.1 High-side and low-side current of standby transformer

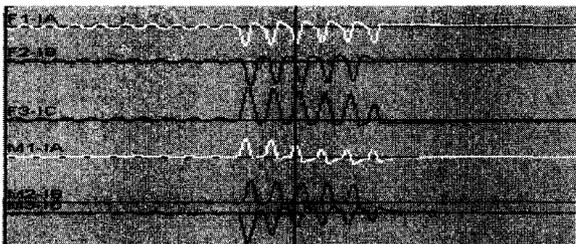


图 2 高压厂变高、低压侧电流

Fig.2 High-side and low-side current of high voltage service transformer

2 原因分析

事后我们对保护动作数据进行了详细分析。启备变跳闸时 B 相制动电流 1.11 pu, 差流 0.45 pu, 二次谐波含量 21.8%, A、C 相无差流, 保护发出跳令开关未切除前, A 相曾出现差流, C 相始终无差流, 如图 3 所示。

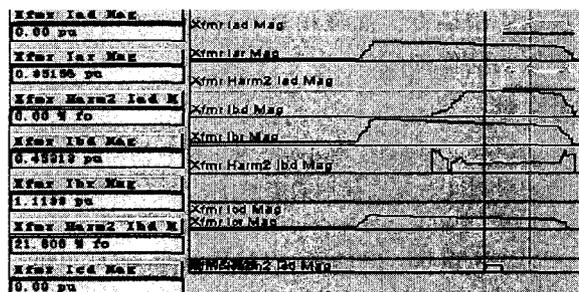


图 3 启备变三相差流 (I_d)、制动电流 (I_r) 和二次谐波含量 (Harm2 I_d Mag)

Fig.3 Three-phase differential current (I_d), restraint current (I_r) and 2nd harmonic ratio (Harm2 I_d Mag) of standby transformer

高压厂变跳闸时 C 相制动电流 1.5 pu, 差动电流 0.68 pu, 二次谐波含量 35.5%, A、B 相无差流, 保护发出跳令开关未切除前, A 相曾出现差流, B 相始终无差流, 如图 4 所示。

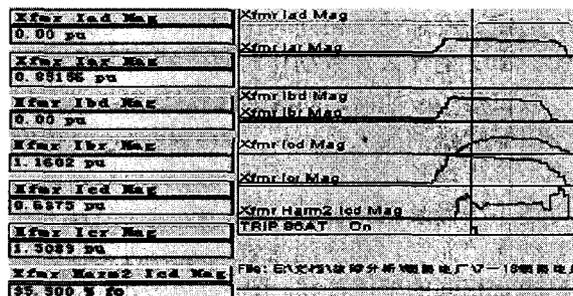


图 4 高压厂变三相差流 (I_d)、制动电流 (I_r) 和二次谐波含量 (Harm2 I_d Mag)

Fig.4 Three-phase differential current (I_d), restraint current (I_r) and 2nd harmonic ratio (Harm2 I_d Mag) of high voltage service transformer

启备变和高压厂变差动保护整定的动作曲线如图 5 所示。

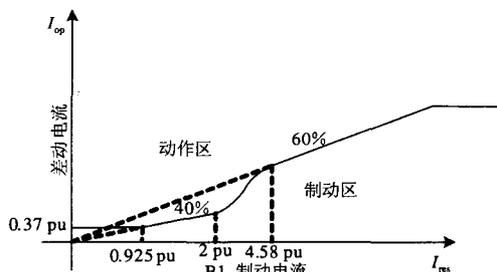


图 5 变压器差动动作曲线

Fig.5 Percent differential operating characteristic of transformer protection

由图可见, 制动电流 1.11 pu 时动作曲线上对应动作值为 0.44 pu, 1.5 pu 时对应动作值 0.6 pu, 两次跳闸实际差流都已大于动作值, 差动元件理应动作。但两次事故中动作相差动电流的二次谐波含量都已达到制动定值 (15%), 却为何没有闭锁本相差动元件?

经与厂家沟通, 发现运行单位整定选择的二次谐波制动方式“2-out-of-3”是“两相及以上二次谐波含量达到定值闭锁三相差动元件, 否则不闭锁任何一相”。而启备变和高压厂变跳闸时都是只有一相有差流, 其余两相没有差流当然也不计算二次谐波含量, 所以二次谐波不闭锁任何一相 (包括本相) 差动元件。这种制动方式与“交叉闭锁”方式 (任一相二次谐波含量达到定值即闭锁三相差动元件) 相似, 在励磁涌流情况下能正确闭锁差动保护, 在

变压器空投于故障时可能导致差动保护动作延迟。但对本文这种只有一相有差流的特殊情况，“交叉闭锁”方式能正确闭锁差动元件，“2-out-of-3”方式却不能。显然 GE 设计这种制动方式是认为一般情况下励磁涌流总是三相同时出现、同时导致差流产生的。那又是什么导致动作时仅一相有差流呢？

假设是和应涌流，则根据文献[1~5]，它应与合闸变压器励磁涌流交替出现、方向相反，且幅值由小到大逐步增长，并在几个周期内达到最大值，然后再逐步缓慢衰减，但其二次谐波含量不会下降。对差动保护而言，和应涌流表现为差动电流，故差流也应有相同的变化规律。图 3、4 中动作相差流确实是先增大再缓慢衰减的，但它从出现到最大值只用了一个周期，且其二次谐波含量还明显下降。此外图 1、2 中高压侧只有与低压侧同向的穿越性励磁涌流（两侧极性相反，故二次电流反向），没有明显的先增大后减小的反向电流交替出现。还有关键的两点，型号相同、定值相同的两套保护装置为什么一套动作、一套没有动作？为什么有一相始终没有差流？这些都是和应涌流没有办法解释的。

对图 1、2 仔细分析可以发现，启备变和高压厂变跳闸时始终无差流的一相穿越性涌流非周期分量最小，其低压侧电流一直偏向于时间轴一方；动作相涌流非周期分量最大，并有反向二次电流，且差流与反向二次电流同时出现。该反向二次电流呈典型的脉冲型畸变，与文献[6,7]中电流互感器暂态饱和时传变到二次的励磁涌流波形相吻合。由此可以判断是穿越性励磁涌流的非周期分量导致低压侧电流互感器逐渐暂态饱和，从而引起差流产生、差动跳闸。由于变压器的两套保护接于不同的电流互感器二次绕组，且该二次绕组负载不同（其中一套保护电流回路故障录波器串接），就有可能出现一组饱和、一组不饱和的情况。同样，三相涌流非周期分量大小不同，最大相 CT 饱和时，最小相 CT 完全可能不饱和。上述所有疑点都得到了合理的解释。至于保护的 CT 饱和和检测功能，根据厂家技术文档，只有制动电流超过拐点 B1（2 pu）时才起作用，因此根本检测不出较小电流下的 CT 暂态饱和。

3 应对措施

两次跳闸虽然是 CT 暂态饱和引起，但主要的原因仍在于差动保护的二次谐波制动方式上。传统二次谐波制动方式仅“按相”和“交叉闭锁”两种，国内厂家各有采用，但不管是哪种方式，在本文这种情况下都能可靠闭锁差动保护。电厂选用的“2-out-of-3”方式关键问题在于仅一相有差流时

二次谐波制动是完全失效的。因此需重新选择二次谐波制动方式。

GE UR 系列变压器保护提供了“Per Phase”、“2-out-of-3”、“Average”三种制动方式，并设计了传统二次谐波原理和新型自适应二次谐波原理供选择。“Average”为平均值方式，即计算三相二次谐波含量平均值作为闭锁判别条件，同样“达到定值闭锁三相差动，否则一相都不闭锁”。显然对本文这种情况，它也是无法实现可靠闭锁的。至于 GE 推荐的基于相位特征的自适应二次谐波原理，根据文献[8,9]，与变压器的联结组别和差动保护的转角方式有关，并不适用于本文场合。故只能选择传统二次谐波原理下的“Per Phase”按相方式。按相方式在本文情况下能可靠闭锁差动保护，但在变压器自身空载合闸时较易造成误跳闸。两者权衡，考虑到合闸变压器误跳所造成的影响比运行变压器误跳要小，且高压厂变和备变空载合闸机会显然比承受穿越性涌流的机会要少，故改为“Per Phase”方式。

同时为增强变压器差动保护抗 CT 暂态饱和的能力，在规程允许范围内适当调整差动动作曲线，将差动启动值调整为 0.4 pu，制动曲线 1 斜率调整为 45%，此时差动灵敏度仍能满足要求。

显然增大 CT 变比和减小二次负载对防止 CT 饱和都是有利的，但对于本文中的运行设备目前尚无条件采取该方面措施。

天然气机组启停频繁，因此类似操作经常进行。但在采取以上措施后，三台高压厂变未再发生同类事故，该运行风险基本得到消除。

4 结束语

穿越性励磁涌流中的非周期分量会造成 CT 中磁链的累积，从而引起 CT 局部暂态饱和。对这种暂态饱和引起的差流，GE UR 系列变压器保护缺少有效的检测手段，较易误动。因此在整定时应综合考虑具体应用场合，选择相对合理的二次谐波制动方式和差动动作曲线。

参考文献

[1] 袁宇波, 李德佳, 陆于平, 等. 变压器和应涌流的物理机理及对差动保护的影响[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(6): 9-14.
YUAN Yu-bo, LI De-jia, LU Yu-ping, et al. Physical Mechanism of Sympathetic Inrush of Transformer and Its Influence on Differential Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(6): 9-14(in Chinese).
[2] 李德佳, 王维俭, 毕大强. 变压器暂态饱和与和应涌流实例分析[J]. 高压电器, 2005, 41(1): 12-15.

- LI De-jia, WANG Wei-jian, BI Da-qiang. Analysis of Transient Saturation and Sympathetic Inrush of Transformers[J]. High Voltage Apparatus, 2005, 41(1): 12-15.
- [3] 张雪松, 何奔腾. 变压器和应涌流对继电保护影响的分析[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(14): 12-17. ZHANG Xue-song, HE Ben-teng. Influence of Sympathetic Interaction between Transformers on Relay Protection[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(14): 12-17(in Chinese).
- [4] 张雪松, 何奔腾, 张建松. 变压器和应涌流产生机理及其对差动保护的影响[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(6): 15-19. ZHANG Xue-song, HE Ben-teng, ZHANG Jiang-song, et al. Principle and Influencing Factors of the Transformer Sympathetic Inrush[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(6): 15-19(in Chinese).
- [5] Hayward C D. Prolonged Inrush Currents with Parallel Transformer Affect Differential Relaying[J]. AIEE Trans, 1941, 60: 1096-1101.
- [6] 王维俭, 侯炳蕴. 大型机组继电保护理论基础(第二版)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989.
- [7] 毕大强, 孙叶, 李德佳, 等. 和应涌流导致差动保护误动原因分析[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(22): 36-40. BI Da-qiang, SUN Ye, LI De-jia, et al. Analysis on Mal-operation of Differential Protection Caused by Sympathetic Inrush[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(22): 36-40.
- [8] 袁宇波, 陆于平, 李澄, 等. 基于附加相位判别的自适应二次谐波励磁涌流制动方案研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(18): 19-24. YUAN Yu-bo, LU Yu-ping, LI Cheng, et al. An Adaptive Second Harmonic Restrained Method Using Phase Angle and Amplitude for Inrush Detection[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(18): 19-24(in Chinese).
- [9] 袁宇波, 陆于平, 李澄, 等. 三相涌流波形特征分析及差动保护中采用二次谐波相位制动的原理[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(19): 23-28. YUAN Yu-bo, LU Yu-ping, LI Cheng, et al. The Characteristic Analysis of Three Phase Transformer Inrush and the Discussion of Second Harmonic Restrained Method Using Phase Angle and Amplitude[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(19): 23-28.

收稿日期: 2008-08-29; 修回日期: 2008-09-22

作者简介:

方愉冬(1977-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事电力系统继电保护设备管理与整定运行工作; E-mail: fang_yudong@dc.zpepc.com.cn

杨涛(1978-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事电力系统继电保护试验研究工作;

吴春娣(1962-), 女, 高级工程师, 本科, 主要从事电厂继电保护技术管理和整定运行工作。

(上接第 117 页 continued from page 117)

信号。微机式母差保护装置通过对电流的实时监视和刀闸辅助触点的自检, 来判别母线上各元件的运行方式, 当某一元件刀闸的辅助触点接触不良时, 可以通过保护屏上的运行方式模拟盘, 将手动强制开关打至与实际运行相符的位置, 此时装置仍能继续可靠运行, 为此类的缺陷处理赢得了大量的时间。由上知微机式母差保护的投入使用更利于对日常运行状况的监视和维护。

6 结论

本文通过对继电器式和微机式母差保护的几个不同点进行对比, 分析了在更换为微机式母差保护后容易被忽视的问题, 以及由此产生的保护误动的原因, 同时也阐述了微机式母差保护的优点。

参考文献

- [1] 保护用电流互感器暂态特性技术要求, 44-5[Z].1992. Requirements for Protective Current Transformers for Transient Performance, 44-5[Z].1992.
- [2] 电流互感器和电压互感器选择及计算导则[Z]. 2004. The Guide for Aelection and Calculation of Current Transformers and Voltage Transformers[Z].2004.

收稿日期: 2009-03-12; 修回日期: 2009-04-22

作者简介:

舒逸石(1972-), 男, 工程师, 长期从事电力系统继电保护工作;

马勇(1978-), 男, 工程师, 长期从事电力系统继电保护工作;

于培杰(1980-), 男, 助理工程师, 长期从事电力系统继电保护工作。