

变压器高、低压侧后备保护的配合问题分析

吴水兰¹, 宋小会², 刘洋¹, 郭志忠², 蔡常群³

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 哈尔滨工业大学电气工程及自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;
3. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 就一例典型的变压器低压侧两相短路故障引起变压器高压侧后备保护先于低压侧后备保护动作的事故案例, 分析了变压器低压侧两相短路故障时变压器高、低压侧电流的特性, 并结合变压器低压侧其他故障情况, 得出变压器高压侧后备保护和低压侧后备保护灵敏度的差异性。发现电力行业标准 DL/T584-2007 《3~110 kV 电网继电保护装置运行整定规程》的规定不合适。特此对变压器后备保护整定提出一点建议: 高压侧后备保护与低压侧后备保护的定值灵敏度要配合, 且配合系数应不小于 1.15。该建议有效提高了变压器高、低压侧后备保护的可靠性。

关键词: 变压器; 后备保护; 两相短路故障; 保护灵敏度; 保护整定

Analysis of the cooperation between transformer's backup protection of high voltage side and low voltage side

WU Shui-lan¹, SONG Xiao-hui², LIU Yang¹, GUO Zhi-zhong², CAI Chang-qun³

(1. XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China; 2. Institute of Electrical Engineering and Automation, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 3. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China)

Abstract: Based on a typical case that the backup protection of high voltage side tripped earlier than the backup protection of low voltage side when two-phase short circuit fault took place at the transformer low voltage side, this paper analyzes the characteristics of the currents of high voltage side and low voltage side when two-phase short circuit fault takes place at the transformer low voltage side. Considering the situations of other kinds of faults at the transformer low voltage side, this paper finds out the difference of sensibility of backup protections between the high voltage side and low voltage side. The paper finds that the provision DL/T584-2007 3~110 kV operation setting regulations of relay protection equipments of power network in the standards of the power industry is inappropriate. Hereby, this paper gives an advice on the setting of transformer's backup protection: the setting sensibility of backup protections of high voltage side must assort with that of the low voltage side, and the fit coefficient must be not less than 1.15. This proposal effectively promotes the reliability of transformer's backup protection of high voltage side and low voltage side.

Key words: transformer; backup protection; two-phase short circuit fault; sensibility of protection; protection setting

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)01-0149-05

0 引言

某变电站 31.5 MVA 变压器, 在低压侧线路发生 A、C 相间短路故障后, 线路保护动作, 开关拒跳, 但变压器低压侧后备保护未动作; 随后变压器高压侧后备保护动作跳中压侧开关, 此时故障仍未切除; 最后高压侧后备保护跳开变压器各侧开关, 故障被切除。

现场主接线如图 1 所示, 其中 10 kV 线路 336 和 328 为同杆共架线路。

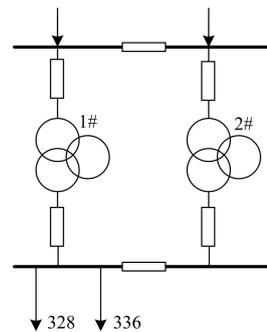


图 1 变电站主接线图

Fig. 1 Main electrical connection of the transformer substation

分析动作经过得知,由于 10 kV 出线开关故障,变压器后备保护动作前,出线 336 和 328 的过流保护先后动作。其中,出线 336 的动作量值为: $I_a=26.296\text{ A}$, $I_b=0.124\text{ A}$, $I_c=27.227\text{ A}$ 。出线 328 的动作量值为: $I_a=36.838\text{ A}$, $I_b=0.119\text{ A}$, $I_c=38.130\text{ A}$ 。且知线路 336 过流保护动作之后,断路器 336 拒跳。

现场变压器高压侧 CT 变比为 200/5,变压器低压侧 CT 变比为 2000/5,线路 CT 变比为 400/5,变压器各侧后备保护装置定值如下:

- 高压侧过流 I 段定值: 5.2 A 延时: 2 s。
- 高压侧过流 II 段定值: 5.2 A 延时: 2.4 s。

低压侧过流 I 段定值: 5.5 A 延时: 1.3 s。
 低压侧过流 II 段定值: 5.5 A 延时: 1.6 s。
 高压侧按额定电压为 110 kV,低压侧按额定电压为 10.5 kV,可算出高、低压侧额定二次电流分别为 4.13 A、4.33 A。高、低压侧后备保护定值分别为 1.26 倍额定电流和 1.27 倍额定电流。

高压侧后备保护动作录波参见图 2 所示。从录波上看到, B、C 两相电流同相位,幅值差别不大; A 相电流幅值几乎为 B、C 相的两倍,大于定值,且与 B、C 反相位。

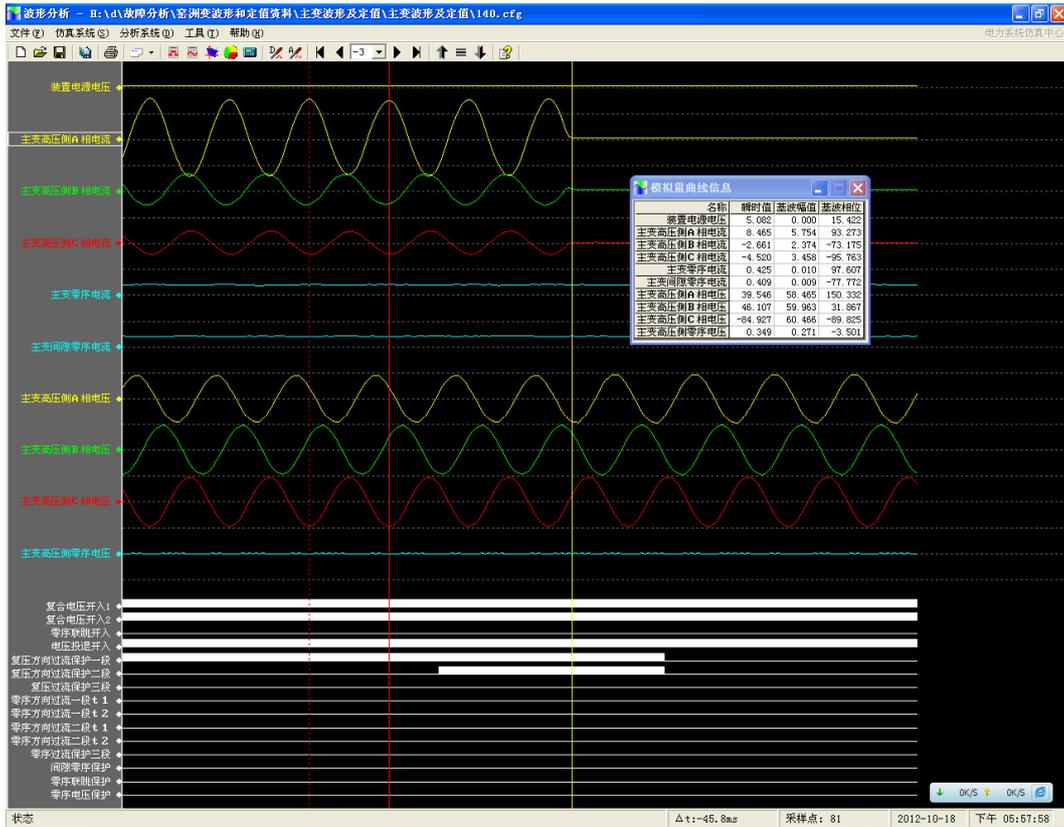


图 2 高压侧后备保护动作录波图

Fig. 2 Wave record chart when the backup protection of HV side tripped

按照以上故障电流的数据,如按变比来折算,则低压侧 A 相电流应为

$$I_a = 5.75 \times 40 \times \frac{110}{10.5} / 400 \approx 6\text{ A}$$

大于定值 5.5 A;另外低压侧后备保护延时较高压侧后备保护的短,低压侧后备保护应先动作。但为何出现了上述现象?经查没有发现其他故障存在,高压侧电流为何是上述这样的特征?为此我们进行了分析。

1 变压器低压侧两相短路故障分析

1.1 高、低压侧电流分析

我们首先对变压器低压侧线路的两相短路故障进行分析。

对于变压器低压侧两相短路故障,如 CA 两相短路,忽略负荷电流,其边界条件为^[1]

$$I_b = 0, I_{fa} + I_{fc} = 0, U_{fa} = U_{fc} \quad (1)$$

联立式(1)求解可得^[1]

$$\begin{cases} \dot{I}_{fa} = j\sqrt{3} \frac{\dot{U}_{f|0|}}{Z_{\Sigma(1)} + Z_{\Sigma(2)}} \\ \dot{I}_{fc} = -j\sqrt{3} \frac{\dot{U}_{f|0|}}{Z_{\Sigma(1)} + Z_{\Sigma(2)}} \end{cases} \quad (2)$$

故障相电流大小相等, 方向相反。根据对称分量法^[1], 可从式(2)解出变压器低压侧各序分量分别为

$$\begin{cases} \dot{I}_{fa1} = \frac{(1-\alpha^2)}{3} \cdot \dot{I}_{fa} \\ \dot{I}_{fa2} = \frac{(1-\alpha)}{3} \cdot \dot{I}_{fa} \\ \dot{I}_{fa0} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

依据式(3)可以得出变压器低压侧电流相量图如图3所示。可见变压器低压侧A、C相电流为典型故障电流, 幅值相当, 相位相反; 变压器低压侧B相电流为负荷电流, 基本可以忽略不计。考虑到实际系统的阻抗不对称, 案例中线路保护的動作量值与理论分析完全相符。

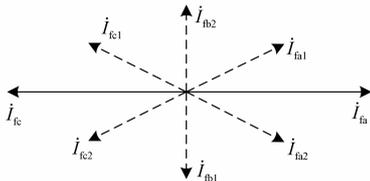


图3 变压器低压侧两相短路故障低压侧电流序分量图

Fig. 3 Current sequence components phasor-diagram of low voltage side when two-phase short circuit fault took place at the transformer low voltage side

其中 \dot{I}_{fa1} 、 \dot{I}_{fb1} 、 \dot{I}_{fc1} 分别为 A、B、C 各相正序量, \dot{I}_{fa2} 、 \dot{I}_{fb2} 、 \dot{I}_{fc2} 分别为 A、B、C 各相负序量。

三相变压器, 常有一侧接成 Δ , 可以有效地削弱三次谐波对变压器的影响, 以保证相电势接近于正弦形, 从而避免相电势波形畸变的影响^[2]。我国国家标准 GB1094.1-1996 规定常用的联结组有 $\Delta/\Delta-0$ 、 $Y/\Delta-1$ 、 $Y/\Delta-5$ 、 $\Delta/\Delta-6$ 、 $Y/\Delta-11$ 。我们以最常用的接线形式 $Y/Y/\Delta-12-11$ 或 $Y/\Delta-11$ 的变压器来分析, 用标么值表示时高、低两侧的电流关系为^[1]

$$\dot{I}_{fa1} = \dot{I}_{fa1} \cdot e^{-j30^\circ}, \quad \dot{I}_{fa2} = \dot{I}_{fa2} \cdot e^{j30^\circ} \quad (4)$$

B、C 相的高、低两侧的电流关系也相同。依据式(4)可以画出变压器高压侧电流相量图如图4所示。

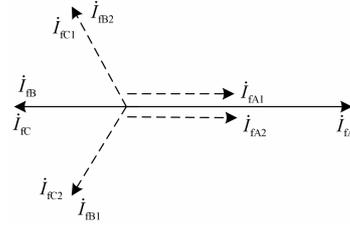


图4 变压器低压侧两相短路故障高压侧电流序分量图

Fig. 4 Current sequence components phasor-diagram of high voltage side when two-phase short circuit fault took place at the transformer low voltage side

由图4可见变压器高压侧B、C相电流, 幅值相当, 相位相同; 变压器低压侧A相电流, 幅值约为B、C相电流的两倍, 相位与B、C相相反^[3]。考虑到实际系统中阻抗等的不对称因素, 高压侧后备保护动作录波中的电流特征与理论分析相符。

由上述分析, 并从文献[4]可知, 变压器低压侧相间短路故障时, 低压侧后备保护仍可按相间过流处理, 但高压侧后备保护却应按单相过流处理。

1.2 高、低压侧后备保护灵敏度对比分析

根据以上分析, 将变压器高、低压侧电流以额定值为基准的标么值归算。由图3可见变压器低压侧CA相故障时, 低压侧A相电流与正序分量幅值关系为 $I_{fa} = \sqrt{3} \cdot I_{fa1}$ 。而由图4可见高压侧A相电流与正序分量幅值关系为: $I_{fA} = 2 \cdot I_{fa1}$ 。

因高、低压侧正序分量标么值相等^[2], 两侧A相电流幅值关系为: $I_{fA} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot I_{fa} \approx 1.15 I_{fa}$ 。即变压器

低压侧CA相故障时, 高压侧A相电流约为低压侧的A相电流的1.15倍。也即如果变压器高、低压侧后备保护按同样的标么值整定, 则高压侧的后备保护的灵敏度比低压侧后备保护的灵敏度高1.15倍, 主变低压侧相间故障时, 可能出现高压侧后备保护动作而低压侧后备保护不动作的现象。

前文介绍该案例变电站变压器高、低压侧后备保护定值分别为1.26倍额定电流和1.27倍额定电流, 以额定电流为基准算标么值, 高压侧后备保护的定值小于低压侧后备保护的定值。而从动作量值来看, 高压侧A相电流为5.7A左右, 标么值为1.38。则低压侧A相电流标么值为 $1.38/1.15=1.2$, 没有达到低压侧后备保护定值1.27, 此时虽然低压侧后备保护延时较高压侧后备保护的短, 但高压侧后备保护动作, 低压侧后备保护不动作。故可以得出结论: 上述变电站变压器高、低压侧后备保护定值的整定不合适, 需调整两侧后备保护定值配合系数。

2 变压器低压侧其他故障情况分析

对于接线形式为 Y/Y/Δ-12-11 或 Y/Δ-11 的变压器，低压侧为中性点不接地系统，发生单相接地故障时，由于不能构成短路回路，接地故障电流比负荷电流小得多，而且三相之间的线电压仍然保持对称，对负荷的供电没有影响。因此，通常不配跳闸的接地保护^[5]，允许系统再继续运行 1~2 h，此时复合电压闭锁过流保护也不会启动。

而发生两相接地故障时，经阻抗 Z_f 、 Z_g 接地时复合序网如图 5 所示^[1,6]。其中 \dot{I}_{f1} 、 \dot{I}_{f2} 、 \dot{I}_{f0} 分别为特殊相的正、负、零序电流， \dot{U}_{f1} 、 \dot{U}_{f2} 、 \dot{U}_{f0} 分别为特殊相的正、负、零序电压。

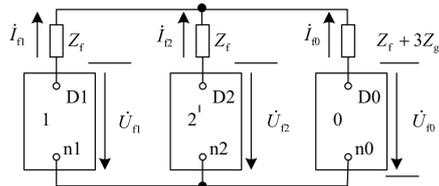


图 5 变压器低压侧两相接地故障的复合序网图

Fig. 5 Composite sequence network when two-phase ground fault took place at the transformer low voltage side

对于接线形式为 Y/Y/Δ-12-11 或 Y/Δ-11 的变压器，低压侧为 Δ 侧，零序回路开路^[1]。即图 5 中的零序回路开路，则复合序网同两相短路故障，分析的结果也同两相短路故障。

发生三相对称故障时，可近似认为系统仍对称，故障电流为对称的正序量，Δ 侧变换到 Y 侧只是各相都顺时针转过 30°，所以高压侧电流量值仍为对称正序量。标么值表示时，高、低压侧电流幅值相同^[1]。

3 变压器后备保护一般的整定原则

电力行业标准 DL/T584-2007《3~110 kV 电网继电保护装置运行整定规程》第 4.2.9.2 条规定：单侧电源三个电压等级的变压器电源侧的复合电压闭锁过流保护作为保护变压器安全的最后一道跳闸保护，同时兼作无电源侧母线和出线故障的后备保护。第 4.2.9.2 条 a 项规定：变压器的电源侧复合电压闭锁过流保护的定值应与两个负荷侧的复合电压闭锁过流保护定值配合整定，配合系数一般取 1.05~1.1。

经过前文的分析，采用上述配合系数整定定值，会导致变压器低压侧相间故障时高压侧后备保护动作而低压侧后备保护不动作的现象，使高、低压侧

后备保护失去了配合关系。这显然不合适。

4 结论

对于最常用的接线形式为 Y/Y/Δ-12-11 或 Y/Δ-11 的变压器，变压器低压侧相间短路故障时，低压侧后备保护仍可按相间过流处理，但高压侧后备保护却应按单相过流处理。用标么值表示时高压侧特殊相的电流约为低压侧的故障电流的 1.15 倍。如果变压器高、低压侧后备保护按同样的标么值整定，则高压侧的后备保护的灵敏度比低压侧后备保护的灵敏度高 1.15 倍，主变低压侧相间故障时，可能出现高压侧后备保护动作而低压侧后备保护不动作的现象。

各种保护的配合关系值得注意^[7-8]。故单侧电源的变压器电源侧的复合电压闭锁过流保护作为保护变压器安全的最后一道跳闸保护，同时兼作无电源侧母线和出线故障的后备保护时，变压器的电源侧复合电压闭锁过流保护的定值应与负荷侧的复合电压闭锁过流保护定值配合整定，且配合系数应不小于 1.15。

若灵敏度不足时可参考文献[9]对保护配置进行改进，或参考文献[10]重构保护故障检测方式。

参考文献

- [1] 韩祯祥, 吴国炎. 电力系统分析[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1997.
HAN Zhen-xiang, WU Guo-yan. Analysis of electric power[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1997.
- [2] 许实章. 电机学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
XU Shi-zhang. Electromechanics[M]. Beijing: China Machine Press, 1991.
- [3] 杨旭东. 变压器角接侧两相故障的远后备保护问题[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(9): 45-46.
YANG Xu-dong. Remote backup protection for phase-to-phase faults at the angle-connected side of transformers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(9): 45-46.
- [4] 李岩军, 李轶群. 再论变压器低压侧故障对高压侧保护的影响[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(3): 85-87.
LI Yan-jun, LI Yi-qun. More on influence of transformer inter-phase faults a LV side on protection at HV side[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(3): 85-87.
- [5] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

- HE Jia-li, SONG Cong-ju. Principle of electric power systems relaying protection protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [6] 蒋建东, 魏臻珠, 王晓华. 参数不对称电网故障计算的虚拟端口法[J]. 电工技术学报, 2010, 25(12): 161-166.
- JIANG Jian-dong, WEI Zhen-zhu, WANG Xiao-hua. Fictitious port method for parameter unbalance power system fault calculation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(12): 161-166.
- [7] 武万才, 聂会军, 边疆. 一起线路与主变保护定值配合失当的事故分析[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(2): 149-151, 154.
- WU Wan-cai, NIE Hui-jun, BIAN Jiang. Analysis on the accident of mismatch between line and transformer protection setting[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(2): 149-151, 154.
- [8] 李大勇, 房亚囡, 黄毅. 一体化整定计算系统二次统一模型的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(21): 142-146.
- LI Da-yong, FANG Ya-nan, HUANG Yi. Research and application of secondary system unified model in integrated relay setting calculation system[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(21): 142-146.
- [9] 黄曙, 邓茂军, 张鹏远. 高阻抗变压器后备保护的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(22): 166-169.
- HUANG Shu, DENG Mao-jun, ZHANG Peng-yuan. Study of high-impedance transformer backup protection[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(22): 166-169.
- [10] 李中, 苑津莎, 张利伟. 基于自组织抗体网络的电力变压器故障诊断[J]. 电工技术学报, 2010, 25(10): 200-206.
- LI Zhong, YUAN Jin-sha, ZHANG Li-wei. Fault diagnosis for power transformer based on the self-organization antibody net[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(10): 200-206.

收稿日期: 2013-04-22; 修回日期: 2013-10-24

作者简介:

吴水兰(1976-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事电力系统继电保护的研发工作; E-mail: shuilanw@xjgc.com

宋小会(1970-), 男, 博士生, 研究方向为智能电网及继电保护原理;

刘洋(1983-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电力系统继电保护的研发工作。