

# 某 110 kV 变电站主变差动保护动作分析

王光中, 郝建宏, 王淑君, 樊平

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 介绍了一起区外故障引起的主变差动保护动作分析处理过程。通过对现场相关电气设备、回路进行了特性试验、绝缘检查、回路测量, 对动作报告和录波进行了分析, 确定原因是变压器中压侧 B 相区外发生接地故障, 同时 C 相区内发生瞬时性绝缘击穿, 诱发接地故障, B、C 相通过过渡电阻(大地)发生转换性 B、C 相间短路, 从而导致差动保护跳闸。

**关键词:** 差动保护; 接地故障

## Analysis of a main transformer's differential relay operation in a 110 kV substation

WANG Guang-zhong, HAO Jian-hong, WANG Shu-jun, FAN Ping

(XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** This paper describes analysis process of the main transformer's differential relay operation caused by an external fault. Through related on-site electrical equipment examining, circuit characteristics tests, insulation inspection, circuit measurement and analysis of the action report and recorded wave, it is confirmed that the transformer's B-phase in external medium-voltage side occurred earth fault, at the same time, C-phase occurred internal earth fault because of insulation breakdown. So B, C phase through the transition resistance (earth) occur phase fault, which led to differential protection tripping.

**Key words:** differential relay; earth fault

中图分类号: TM772 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)04-0134-03

## 0 引言

在电力系统中, 变压器是十分重要的供电元件, 它的故障将对供电的可靠性和电网系统稳定运行带来严重的影响。变压器差动保护可以说是电力网安全稳定的可靠保证, 在电力网中具有举足轻重的作用。

2009年4月23日19:55左右, 某110 kV变电站35 kV侧屯平线发生短路, 屯平线保护没有动作, 主变差动保护动作, 跳开主变三侧, 造成全站失压。

## 1 现场检查情况

### 1.1 事故相关运行方式的了解

该站现有1台110 kV变压器, Y/Y/ $\Delta$  绕组类型。110 kV、35 kV和6 kV母线全部采用单母接线。110 kV侧为电源端, 其它两侧为负荷侧。35 kV中性点隔离开关在变压器正常运行时拉开, 在操作35 kV侧开关操作时合上。差动保护CT二次部分采用全星形接线(如图1所示)。

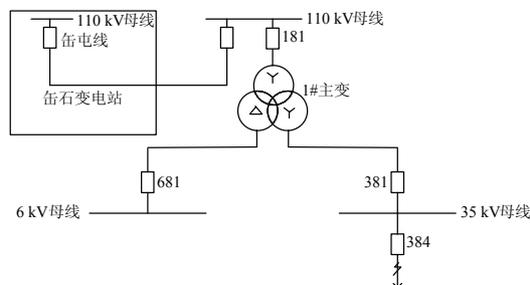


图1 某110 kV变电站差动保护动作时的运行方式  
Fig.1 The operating mode as the 110 kV transformer's differential relay acting

### 1.2 值班员记录

2009年4月23日19时55分左右, 事故音响喇叭响起, 主变三侧181、381、681开关位置信号灯绿灯闪光, #1主变控制屏“差动保护动作”、“充电机保护故障”、35 kV屯平线384开关保护屏“告警”氖灯亮, 其“告警”光字牌亮。当时检查主变瓦斯继电器内无气体, 压力释放阀未动作。后来报告说35 kV侧屯平线发生短路(特殊用户)。

### 1.3 保护动作报告

① 2009年4月23日19:56 39.732

## B 相动作

差动动作电流 动作量 5.943 A

差动制动电流 动作量 12.38 A

持续时间 动作量 0.027 s

② 2009 年 4 月 23 日 19:56 39.732

## C 相动作

差动动作电流 动作量 6.369 A

差动制动电流 动作量 6.193 A

持续时间 动作量 0.027 s

## 1.4 故障录波器记录

本站没有设录波器装置。我们到现场时运行单位已经对保护做过保护特性试验, 故障时的主变保护装置内的故障报告已被冲掉, 无法从变压器保护装置内提取当时的故障录波记录。通过上一级变电站岳石站录波器对岳屯线故障录波记录检查, 发现当时岳屯线录波启动, 记录为 B、C 两相启动录波, 从波形可看出 B、C 两相波形反相, 幅值接近, 其下一级相邻元件可能发生 B、C 两相相间短路。

## 1.5 保护检查

(1) 设备运行时差动保护实时运行参数检查:

变压器频率	49.97 Hz
变压器 A 相差动电流	0.005 A
变压器 B 相差动电流	0.028 A
变压器 C 相差动电流	0.011 A
高压侧 A 相电流	(0.255∠269°) A
高压侧 B 相电流	(0.238∠149°) A
高压侧 C 相电流	(0.255∠33°) A
中压侧 A 相电流	(0.238∠86°) A
中压侧 B 相电流	(0.244∠331°) A
中压侧 C 相电流	(0.250∠205°) A
低压侧 A 相电流	(0.017∠90°) A
低压侧 B 相电流	(0.022∠14°) A
低压侧 C 相电流	(0.005∠180°) A

保护实时参数正常。

(2) 保护定值检查

最小动作电流	整定值 1.102 A
最小制动电流	整定值 2.801 A
比率制动系数	整定值 0.400
二次谐波制动系数	整定值 0.180
差动第一侧平衡系数	整定值 1.000
差动第二侧平衡系数	整定值 0.700
差动第三侧平衡系数	整定值 0.570
CT 断线投退	整定值 1
CT 断线闭锁控制	整定值 1

(3) 对差动保护性能进行检查, 保护特性正常, 且能正常跳开主变三侧 181、381 和 681 开关。

(4) 对相关回路摇绝缘, 绝缘正常。

## 2 保护动作分析

## 2.1 CT 二次为全星形接线的差动保护原理

在变压器差动保护中, 变压器的绕组接线方式一般为 Y/Δ-11 或 Y/Y/Δ-12-11 形式, 而变压器差动保护专用 CT 二次的接线方式通常为 Δ/Y 或 Δ/Δ/Y 形式。这样一来, 在 CT 接线形式上完成了变压器各侧电流相位差异的补偿, 使得进入差动保护的各侧电流在相位上保持一致。由于微机型保护可以很方便地对变压器各侧电流的相位和幅值进行补偿, 因此差动保护专用 CT 二次可采用常规接线, 也可采用全星接线。该站差动保护专用 CT 二次采用的是全星接线。

如果 CT 采用全星形接线, 需要对进入保护的变压器各侧电流的相位和幅值进行补偿, 以实现差动保护原理。以两卷变压器为例: 变压器的绕组接线方式为 Y/Δ-11, CT 二次接线方式为 Y/Y 形, 则进入差动保护的高压侧电流为  $I'_{AY}, I'_{BY}, I'_{CY}$ , 低压侧电流为  $I'_{a\Delta}, I'_{b\Delta}, I'_{c\Delta}$ , 同名相电流之间相位差为  $30^\circ$ 。为消除该差异, 在保护程序中利用软件进行补偿, 高压侧电流分别取值为:

$$I_{ah\Delta} = \frac{I'_{AY} - I'_{BY}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{bh\Delta} = \frac{I'_{BY} - I'_{CY}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{ch\Delta} = \frac{I'_{CY} - I'_{AY}}{\sqrt{3}}$$

低压侧电流仍为  $I_{al} = I'_{a\Delta}, I_{bl} = I'_{b\Delta}, I_{cl} = I'_{c\Delta}$ , 这样, 差动保护的高低侧电流相位一致, 高低侧电流幅值不变。高、低两侧电流乘上平衡系数后, 在保护中差电流正常运行时为零, 实现了差动保护原理。

## 2.2 保护动作解析

对于三圈变差动保护, 差动电流为三侧电流矢量和:  $I_{cd} = i_h + i_m + i_l$ ; 制动电流为三侧电流的最大值, 即:  $I_{zd} = \max\{i_h, i_m, i_l\}$ 。

由于该站负荷量比较小, 故障时故障电流比较大, 此时负荷电流对不平衡电流的影响比较小, 事故分析时正常负荷电流可忽略不计。高压侧为电源端, 中压侧为短路事故侧, 低压侧电流可忽略不计, 故本次事故分析主要取高中压侧事故时的电流进行分析。

在保护报告中, B 相差动  $I_{cd} = 5.943$  A 可近似取 6 A,  $I_{zd} = 12.38$  A 可近似取 12 A, C 相差动  $I_{cd} = 6.369$  A 可近似取 6 A,  $I_{zd} = 6.193$  A 可近似取 6 A。

该站变压器 Y/Y/Δ-12-11, 二次 CT 为全星形接线, 本次故障时其差动电流分别为:

$$I_{cd\_a} = i_{ha} + i_{ma} = \frac{i'_{ha} - i'_{hb}}{\sqrt{3}} + \frac{i'_{ma} - i'_{mb}}{\sqrt{3}} = \frac{(i'_{ha} + i'_{ma}) - (i'_{hb} + i'_{mb})}{\sqrt{3}}$$

$$I_{cd\_b} = \frac{(i'_{hb} + i'_{mb}) - (i'_{hc} + i'_{mc})}{\sqrt{3}}$$

$$I_{cd\_c} = \frac{(i'_{hc} + i'_{mc}) - (i'_{ha} + i'_{ma})}{\sqrt{3}}$$

制动电流计算分别为:

$$I_{zd\_a} = \max \{ i_{ha}, i_{ma} \} = \max \left\{ \frac{i'_{ha} - i'_{hb}}{\sqrt{3}}, \frac{i'_{ma} - i'_{mb}}{\sqrt{3}} \right\}$$

$$I_{zd\_b} = \max \left\{ \frac{i'_{hb} - i'_{hc}}{\sqrt{3}}, \frac{i'_{mb} - i'_{mc}}{\sqrt{3}} \right\}$$

$$I_{zd\_c} = \max \left\{ \frac{i'_{hc} - i'_{ha}}{\sqrt{3}}, \frac{i'_{mc} - i'_{ma}}{\sqrt{3}} \right\}$$

通过岳石站录波器的录波可看出: B、C 两相短路, 而 A 相无故障。故高、中压侧 A 相电流可认为为 0。

$$I_{cd\_a} = \frac{(i'_{ha} + i'_{ma}) - (i'_{hb} + i'_{mb})}{\sqrt{3}} = 0 - \frac{(i'_{hb} + i'_{mb})}{\sqrt{3}}$$

由于 A 相差动保护未动作, 可认为 B 相为变压器差动保护区外故障, 且高、中压侧 B 相 CT 较好地反映了故障电流。

$$I_{cd\_c} = \frac{(i'_{hc} + i'_{mc}) - (i'_{ha} + i'_{ma})}{\sqrt{3}} \approx \frac{(i'_{hc} + i'_{mc})}{\sqrt{3}} = 6 \text{ A}$$

$$I_{zd\_c} = \max \left\{ \frac{i'_{hc} - i'_{ha}}{\sqrt{3}}, \frac{i'_{mc} - i'_{ma}}{\sqrt{3}} \right\} \approx \max \left\{ \frac{i'_{hc}}{\sqrt{3}}, \frac{i'_{mc}}{\sqrt{3}} \right\} = 6 \text{ A}$$

$$I_{cd\_b} = \frac{(i'_{hb} + i'_{mb}) - (i'_{hc} + i'_{mc})}{\sqrt{3}} \approx \frac{0 - (i'_{hc} + i'_{mc})}{\sqrt{3}} = 6 \text{ A}$$

$$I_{zd\_b} = \max \left\{ \frac{i'_{hb} - i'_{hc}}{\sqrt{3}}, \frac{i'_{mb} - i'_{mc}}{\sqrt{3}} \right\} = 12 \text{ A}$$

由  $I_{cd\_b}$ 、 $I_{cd\_c}$ 、 $I_{zd\_b}$ 、 $I_{zd\_c}$  公式可知: ① B、

C 相的差流是由于高压侧与中压侧的 C 相电流不一致引起的; ② 高压侧 B、C 相一次电流大小相等, 方向相反; ③ 高压侧或中压侧 C 相进入保护装置的二次电流为 0。

能造成以上结果, 有以下两种故障情况, 分别是:

一种情况是变压器中压侧差动保护区外 B、C 相金属性相间短路, 且进入保护装置前的高压侧或中压侧 C 相 CT 开路或短路 (由于负荷电流很小, 正常运行时, 差动保护也不能反映该异常情况)。但据运行单位介绍, 他们已检查 CT 回路, 未发现开路或短路的现象。

另一种情况是变压器中压侧 B 相差动保护区外接地故障, C 相差动保护区内接地故障 (图 2)。

如果 B 相在区外发生接地故障, 那么系统就处在 B 相接地运行方式, 此时  $U_{bn}=0$ ,  $U_{an}=U_{ab}$ ,  $U_{cn}=U_{cb}$ , 即 A、C 相的对地电压会抬高  $\sqrt{3}$  倍, 电气设备的绝缘能力肯定会降低。在区内, C 相电气设备如有污物, 就有可能闪络等瞬时性绝缘击穿, 进一步通过大地过渡电阻发生转换性 B、C 相间短路。由于变压器中压侧为不接地系统, 两相接地短路与两相金属性短路故障性质一致。

对于第二种故障情况导致的差动保护跳闸分析, 运行单位认可。

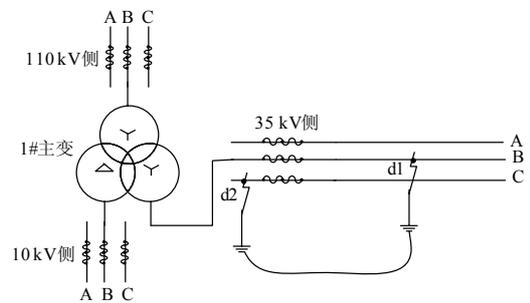


图 2 1#主变跳闸时区内区外故障示意图

Fig.2 The internal or external earth fault diagram of the main transformer's tripping accident

### 3 结论

无论以上哪种故障情况造成保护动作, 均符合差动保护设计逻辑, 差动保护为正确动作。

因此, 4.23 该站主变差动保护动作的原因为: 35 kV 侧 B 相区外发生接地故障, 同时 C 相区内发生瞬时性绝缘击穿发生接地故障, B、C 相通过过渡电阻 (大地) 发生转换性 B、C 相间短路。一点区外, 一点区内, 导致差动保护跳闸。

(下转第 139 页 continued on page 139)

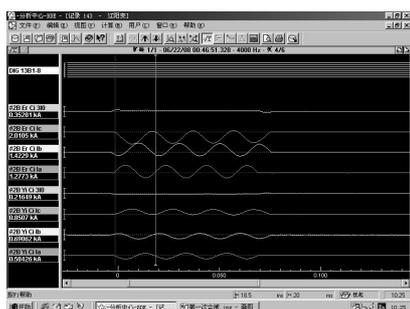


图 2 第二次合环时的录波图

Fig.2 DFR wave of the second closed loop

图 2 中的名称条#2B Er Ci Ic 为 2 号主变二次 C 相电流有效值, 也就是说在第二次合环时刻, 2 号主变二次侧 C 相电流值达到临时相电流速断保护动作值的时间至少在三个周波以上, 所以该临时相电流速断保护再次动作。

我们将第二次跳闸的分析结果上报东北公司调度通信中心, 调通中心领导决定将 2 号主变二次临时相电流速断保护退出, 在 2008 年 6 月 22 日 22 时 26 分, 2 号主变二次 2202 开关环并, 2 号主变送电成功。但通过我们对第三次合环时刻的动作录波图 (图 3) 分析, 第三次合环时 2 号主变二次侧电流第一个周波的 A 相电流为 1 664 A, B 相电流为 1 252 A, C 相电流为 2 077 A, 详见表 6。

表 6 第三次合环时第一个周波的电流值

Tab.6 The first cycle's current of the third closed loop

相别	直流分量	基波	二次谐波	五次谐波	有效值
A	1 080 A	1 266 A	15.2 A	8.8 A	1 664 A
B	155 A	1 242 A	18.6 A	22.4 A	1 252 A
C	1 666 A	1 239 A	18.4 A	8.9 A	2 077 A

图 3 中的名称条#2B Er Ci Ic 为 2 号主变二次 C 相电流有效值, 通过上述数据可以看出, 2 号主变二次侧 C 相电流值已达到临时相电流速断保护动作

值, 且衰减速度非常缓慢, 如果该临时相电流速断保护不退出, 那么在第三次合环时该保护仍会动作。

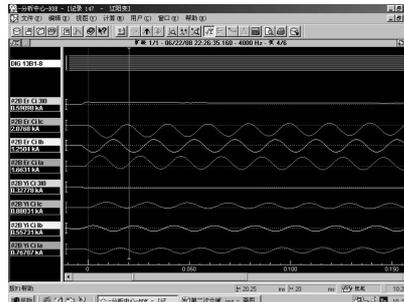


图 3 第三次合环时的录波图

Fig.3 DFR wave of the third closed loop

### 3 结束语

随着电网规模日益扩大, 电力系统的复杂程度越来越高。这次主变送电过程中产生如此大的直流分量是所有人没有想到的, 所以才会三次送电, 对系统造成了不必要的冲击。对系统中出现的新现象、新问题, 我们基层继电保护人员要勤思考、多研究, 才能适应新时期电力工作的要求, 更好地完成本职工作。

### 参考文献

[1] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答 (第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2000. National Power Dispatch and Communication Center. Relay Protection Practical Technique Question and Answer of the Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.

收稿日期: 2009-10-28

作者简介:

杨继业 (1974-), 男, 工学学士, 研究方向为继电保护管理与控制。E-mail: yiy-cmy@163.com

(上接第 136 页 continued from page 136)

### 参考文献

[1] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护典型故障分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.  
 [2] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.  
 [3] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.  
 [4] 贺家李. 电力系统继电保护原理 (增订版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

收稿日期: 2009-05-09;

修回日期: 2009-06-24

作者简介:

王光中 (1971-), 男, 本科, 讲师, 从事电工电子、电力系统等专业教学工作; E-mail:wgz5653@126.com  
 郝建宏 (1971-), 女, 本科, 工程师, 从事电力系统继电保护产品设计和调试工作;  
 王淑君 (1985-), 男, 本科, 助理工程师, 从事电力系统继电保护产品设计和调试工作。