

基于波形特征量的变压器平衡绕组故障诊断方法

王建明, 李鹏

(江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103)

摘要:文中提出了一种利用变压器各侧电流及差动电气量特征,进行区外线路故障引起的220 kV变压器内部故障定位的方法,根据现场主变差动保护录波波形的幅值、相位特征进行理论分析和计算,利用推理排除的方法逐步开展主变故障点和故障类型识别,最终判断本次主变故障为平衡绕组绝缘破坏导致平衡绕组发生单相首尾短路,对故障排查和定位过程进行了详细的阐述,通过故障分析表明故障中变压器保护正确动作,并为开展现场一次设备检查和故障处理提供了支撑。

关键词:变压器;差动保护;平衡绕组

中图分类号:TM41

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)06-0062-04

变压器是电力系统最重要的变电设备,其运行状态直接影响电网的安全,变压器故障会对电力系统和用户造成重大的危害和影响,主变出现故障后,快速准确地判断故障原因及故障点,并及时加以排除,对系统的安全稳定运行至关重要^[1]。目前国内外对于变压器内部故障、区内外故障情况下的分析已经较多。随着微机变压器保护的普遍应用,变压器差动保护的動作准确率得到了提高,但有时保护动作后并不易排查出故障点^[2-7]。充分利用变压保护的故障录波数据,灵活运行电网故障分析的理论和方法,仔细分析保护动作原因,有助于明确主变故障点及故障类型。

1 故障及保护动作情况

故障前系统如图1所示。主变接线形式为,变比为220 kV/110 kV/35 kV,△绕组为平衡绕组,主变高/中/低压侧电流互感器(TA)变比分别为1200/5,1200/5及2000/5;110 kV母线上702线路、703线路运行。

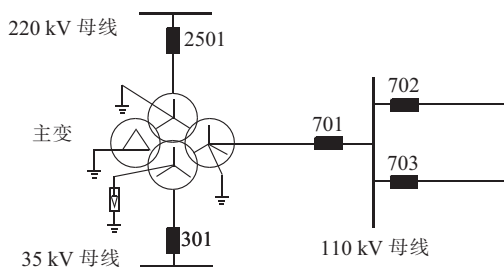
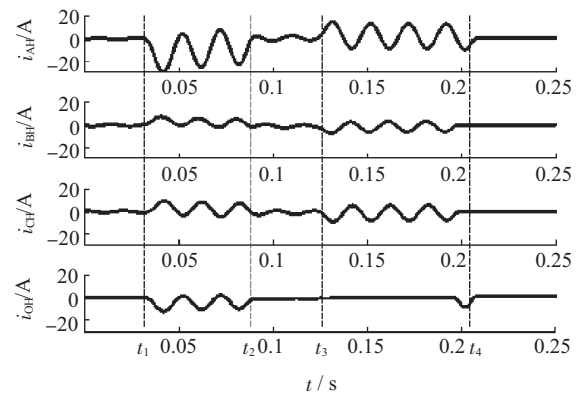
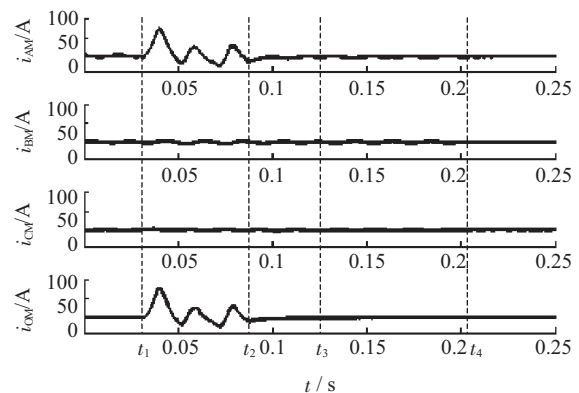


图1 故障前系统接线图

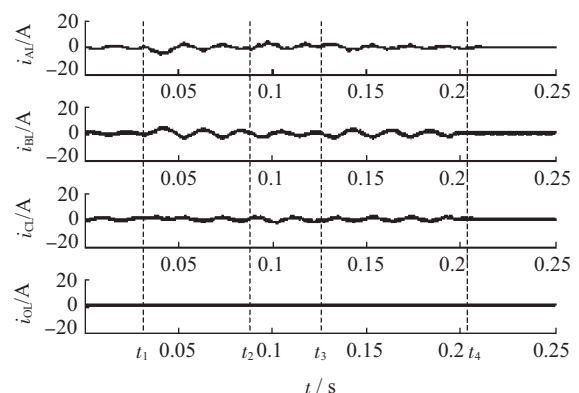
当110 kV 702线路发生A相永久接地故障时,保护动作跳开702开关,经延时后702开关重合不成功三跳。702线路三跳后,主变2套差动保护动作、重瓦斯动作、压力释放阀动作跳开主变三侧开关。主变保护装置录波波形及时序如图2所示。



(a) 主变高压侧(220 kV)相电流及零序电流



(b) 主变中压侧(110 kV)相电流及零序电流



(c) 主变低压侧(35 kV)相电流及零序电流

图2 主变保护故障录波

从图2录波可见,故障过程可分为3个阶段。其中 t_1 时刻为702线路重合于故障, t_2 时刻702线路合于故障后三相跳开, t_3 时刻主变高压侧出现故障电流, t_4 时刻主变三侧跳开。

(1) 第一阶段($t_1 \sim t_2$):702线路重合于故障后,主变高、中压侧A相出现故障电流,且方向相反,对主变为穿越性电流,具有区外故障特征;主变中压侧TA发生饱和。

(2) 第二阶段($t_2 \sim t_3$):702线路三跳故障切除后,主变高、中压侧电流恢复正常,110kV母线电压恢复正常,故障特征消失。

(3) 第三阶段($t_3 \sim t_4$):主变高压侧出现故障电流,中、低压侧没有故障电流,三侧均没有零序电流;且主变高压侧A相电流与B相、C相电流反向,约等于B相、C两相电流之和取负值,B相、C相电流同相且基本相等,幅值约为A相电流的1/2。

2 故障分析

针对该事故过程所表现出来的特征,有如下疑问需要进行合理的解释:当主变外部故障清除之后,主变高压侧再次出现故障电流,且主变差动保护、重瓦斯及压力释放动作,表明可能主变内部发生故障,故障类型是什么,故障点在哪里,为了便于开展变压器故障分析,首先对变压器差动电流进行计算。

2.1 变压器保护差动电流计算

变压器差动保护在进行判别之前需要进行各侧电流幅值相位校正,对于相间电流差动保护原理,采用Y \rightarrow Δ 转角方式,Y接线绕组转角公式为:

$$\begin{bmatrix} i_{A\varphi d} \\ i_{B\varphi d} \\ i_{C\varphi d} \end{bmatrix} = K_{ph\varphi} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{A\varphi} \\ i_{B\varphi} \\ i_{C\varphi} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中: φ 取H,M或L分别表示主变高、中、低压侧;主变高压侧的平衡系数 $K_{phH}=1/\sqrt{3}$,中压侧平衡系数

$$K_{phM} = \frac{U_M \times n_M}{\sqrt{3} U_H \times n_H}, \text{ 低压侧的平衡系数 } K_{phL} =$$

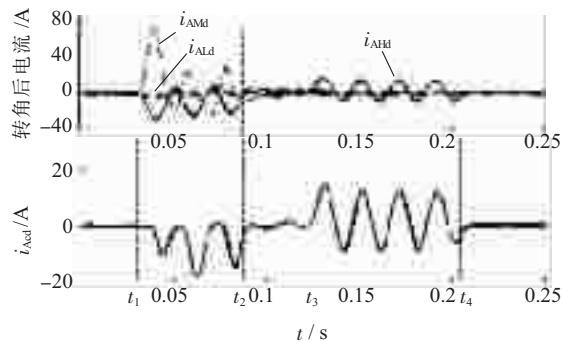
$$\frac{U_L \times n_L}{\sqrt{3} U_H \times n_H}; n_H, n_M \text{ 及 } n_L \text{ 分别为高、中及低压侧 TA 变$$

比; $i_{A\varphi}, i_{B\varphi}$ 及 $i_{C\varphi}$ 为主变 φ 侧 Y 接线绕组电流; $i_{A\varphi d}, i_{B\varphi d}$ 及 $i_{C\varphi d}$ 为对应的转角后电流。主变各相差动电流 i_{Acd}, i_{Bcd} 及 i_{Ccd} 计算公式为:

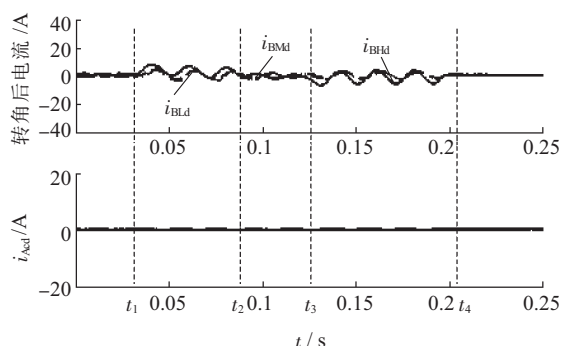
$$\begin{bmatrix} i_{Acd} \\ i_{Bcd} \\ i_{Ccd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{AHd} \\ i_{BHd} \\ i_{CHd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_{AMd} \\ i_{BMd} \\ i_{CMd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_{ALd} \\ i_{BLd} \\ i_{CLd} \end{bmatrix} \quad (2)$$

从式(2)可以看出,该转角方式的变压器差动是相

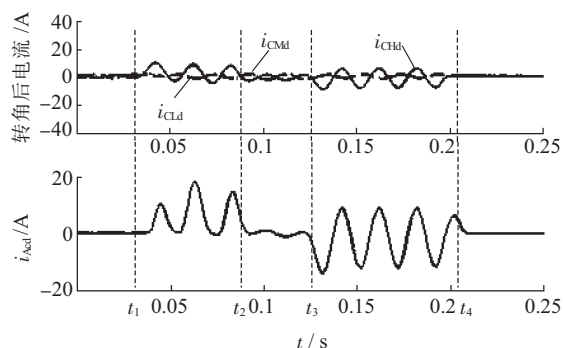
间差动原理,在正常运行或区外故障时,各相差流理论上等于0。将图2所示主变各侧电流代入式(1,2),得到图3所示的转角后主变各侧电流及差动电流。



(a) A相电流及差流



(b) B相电流及差流



(c) C相电流及差流

图3 转角后主变各侧电流及差动电流

2.2 主变故障分析

为了明确本次主变故障的故障点和故障类型,结合图2和图3的主变各侧电流及差流,利用排除推理的方法进行主变故障分析。

由图3主变差动电流可见,在702线路重合于故障期间(第一阶段),重合后约9ms主变保护A相、C相出现差流,且差流反向,这是由于区外故障使主变中压侧TA饱和导致中压侧A相电流发生畸变,差流计算时按式(1)进行转角,使A相、C两相出现反向差流,且差流偏向时间轴的一侧。由于主变差动保护采用谐波制动,区外故障主变差动保护启动,但并未动作。第三阶段主变A相、C相出现差流,且差流反向,B相没有差流。由此可判断主变未发生高/中/低压侧的两

相短路故障,因为差流计算按式(1)进行转角,如果高/中/低压侧两相短路会导致三相均出现差流。

图2中主变故障电流波形表明第三阶段主变三侧均没有零序电流,据此可判断主变高压侧故障电流不可能是由高/中/低压侧Y绕组发生单相接地故障引起的;同时,由于高/中/低压侧Y绕组或△绕组发生单相匝间短路时会出现零序电流,则排除发生了单相匝间短路故障的可能性^[8]。进一步由图2波形可见,主变高压侧B相、C相电流同相且基本相等,与A相电流反向,幅值约为A相电流的1/2,具有的主变△侧发生A相、C相两相短路的特征。

结合以上现象及分析结果,推断主变故障点为平衡绕组(△绕组)发生A相绕组首尾短路(类似主变△侧A相、C相两相短路),由于平衡绕组的电流不接入差动保护,排查此类故障具有较大的难度。

2.3 故障电流分析

$Y_n/\Delta-11$ 接线变压器△侧a相、c相两相短路及电流分布如图4所示。

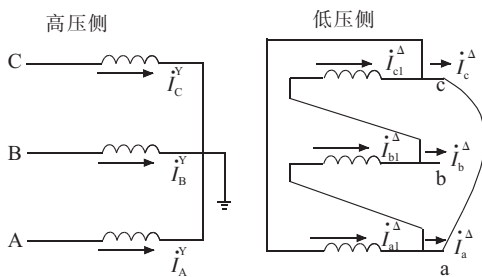


图4 $Y_n/\Delta-11$ 接线变压器△侧两相短路及电流分布

根据电网故障分析理论,a相、c相两相短路时b相为特殊相,利用序分量方法,相应边界条件如下^[8,9]:

$$i_b^\Delta = 0; i_a^\Delta = -i_c^\Delta; \dot{U}_a = \dot{U}_c \quad (3)$$

各序分量关系如下:

$$i_{f(0)}^\Delta = 0; i_{f(1)}^\Delta = -i_{f(2)}^\Delta; \dot{U}_{f(1)} = \dot{U}_{f(2)} \quad (4)$$

则变压器Y侧电流相量关系如图5所示。

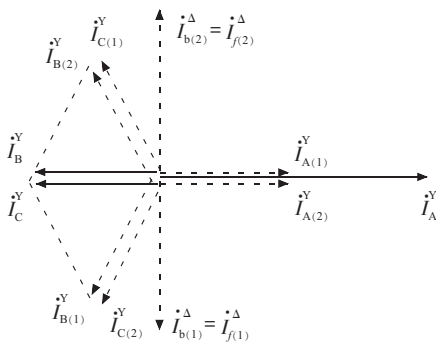


图5 变压器△侧两相短路Y侧电流相量

由图5可见,变压器△侧A相、C相两相短路时Y侧及△侧各电流满足下面的关系。

$$I_B^Y = I_C^Y = -\frac{I_A^Y}{2} = I_H \quad (5)$$

$$i_{b1}^\Delta = i_{c1}^\Delta = -\frac{i_{a1}^\Delta}{2} = i_L \quad (6)$$

$$i_a^\Delta = -i_c^\Delta = -3i_L, i_b^\Delta = 0 \quad (7)$$

对于图1主变,平衡绕组A相绕组首尾短路时(类似于A相、C相两相短路)根据式(1,2)可知主变差动电流为:

$$\begin{cases} i_{Acd} = \frac{i_{AH} - i_{BH}}{\sqrt{3}} = -\sqrt{3} i_H \\ i_{Bcd} = \frac{i_{BH} - i_{CH}}{\sqrt{3}} = 0 \\ i_{Ccd} = \frac{i_{CH} - i_{AH}}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} i_H \end{cases} \quad (8)$$

可见,主变A相、C相有差流,且差动电流反向,B相没有差流,符合图3中主变差动电流的特征。

3 现场检查

故障发生后,现场对一次设备开展检查和试验。

(1) 主变220 kV侧C相套管中下部瓷套破裂。

(2) 对故障变压器采样油进行油色谱分析表明气体成分及含量呈现高能量放电后的特征。

(3) 主变绕组电容量数据测试异常,其中平衡绕组介损测试加压10 kV后变压器内有明显放电声,降至2 kV,平衡绕组介损为0.94%,电容量比上次试验增大明显。验证了故障分析的结果。

综合保护动作的行为、故障录波分析以及现场一次设备检查,本次主变故障的原因:702线A相接地故障及重合于故障,使主变经受两次中压侧近区短路电流冲击,造成内部绕组变形,平衡绕组绝缘损坏,平衡绕组A相短路引起差动保护动作。变压器内部绝缘故障引起的压力造成压力释放阀和重瓦斯动作。故障过程中主变保护动作行为正确。

4 结束语

利用主变故障录波,通过排除推理的方法进行主变故障分析,明确了故障位置和故障点,有助于开展为一次设备检查和故障处理。故障类型为主变平衡绕组A相短路故障,具有主变△侧A相、C相两相短路的特征,主变高压侧B相、C相电流同相且基本相等,而A相电流与其反向且大小相差2倍,与故障电流分析结论相符。故障过程中主变保护动作行为正确。电网中有时会发生这种典型的故障,差动保护动作,但故障点不易排查,建议现场结合故障电流仔细分析排查故障点。

参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理及应用[M]. 北京:中国电力出版社,2002:45-103.
- [2] 袁宇波,陆于平,许扬,等. 切除外部故障时电流互感器局部

暂态饱和对变压器差动保护的影响及对策[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(10): 12-17.

[3] 曹海欧, 张量, 陈久林, 等. 变压器保护 T60 比率制动原理[J]. 江苏电机工程, 2005, 24(6): 35-37.

[4] 袁宇波, 李澄, 葛永高, 等. 复杂故障情况下的变压器差动保护动作特性分析[J]. 江苏电力工程, 2006, 25(5): 9-11.

[5] 黄浩声, 陈久林, 陆扬, 等. 利用 TA 差异性配置的主变故障点诊断分析[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(4): 12-14.

[6] 陆于平, 吴济安, 袁宇波. 主设备数字式保护技术的讨论[J]. 江苏电机工程, 2003, 22(3): 6-9.

[7] 曹良. 主变压器微机型保护的双重化[J]. 江苏电机工程,

2003, 22(3): 13-15.

[8] 国家电力调度通信中心. 国家电网公司继电保护培训教材(下册)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 389-434.

[9] 李光琦. 电力系统暂态分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995: 120-142.

作者简介:

王健明(1963), 男, 江苏如东人, 高级工程师, 长期从事电网设备运行管理和技术工作;

李鹏(1982), 男, 陕西周至人, 博士, 研究方向为电力系统继电保护、直流控保系统等。

Method for Transformer Balancing Wing Fault Diagnosis Based on Waveform Characteristic

WANG Jianming, LI Peng

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: Utilizing the current and differential current waveform characteristic of transformer, a method for analyzing a 220kV transformer fault caused by an external zone fault is proposed in this paper. Based on the transient fault recorder data of transformer differential protection, theory analysis and calculation is implemented. The fault location and type is identified gradually by utilizing the reasoning and exclusion method. It is indicated that the transformer fault is balancing wing short circuit due to insulation damage. It shows that the transformer differential protection tripped correctly in this fault. More, the progress of this fault investigation and location is introduced, which is benefit to primary equipment inspection and deal with fault condition.

Key words: Transformer; differential protection; balancing wing

(上接第 61 页)

王春宁(1966), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 从事供电企业科技开发及管理工作;

宋杰(1981), 男, 山东威海人, 工程师, 从事智能电网、需求响应、电力负荷管理方面的研究和开发工作;

田伟(1985), 女, 安徽颍上人, 工程师, 从事智能电网、调度自动化等研究工作;

陈璐(1987), 女, 江苏常州人, 助理工程师, 从事智能电网、需求响应、电力负荷管理方面的研究和开发工作。

Load Management System Based on Demand Response

SHI Xiangyi¹, LI ying¹, WANG Chunming¹, SONG Jie², TIAN Wei³, CHEN Lu²

(1. Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210008, China; 2. China Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China; 3. China Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: The concepts of power demand side management and demand response are introduced, and then the development of power load management system is reviewed. Combining with smart grid construction, from the perspective of demand response, the direction of power load management development is presented. The direction is that the main power load management center should be able to grasp users' response capability data and load control terminal should be able to precisely control its consumption. The power load management system is a basis of the implementation of demand response.

Key words: Power Demand Side Management, Demand Response, Power Load Management, Interface Standard

广告索引

南京南瑞继保电气有限公司	封一	《江苏电机工程》协办单位	前插 4
思源电气股份有限公司	封二	宿迁电力设计院有限公司	(黑白) 文前
南瑞科技股份有限公司	前插 1	江苏南瑞帕威尔电气有限公司	封三
《江苏电机工程》协办单位	前插 2、3	南京苏逸实业有限公司	封四