

恢复性涌流引起变压器差动保护误动分析

游复生

(广东省电力设计研究院, 广东 广州 510663)

摘要: 一般认为变压器区外故障切除后, 出现的涌流情况与空载合闸一致, 通过一起变压器区外故障切除后, 恢复性涌流引起变压器保护误动为例, 分析变压器区外故障切除后的电磁暂态全过程, 分析恢复性涌流的成因, 说明了影响恢复性涌流的因素, 通过数字仿真模型和动模数据分析, 说明变压器外部故障恢复性涌流本身不会造成差动保护误动作, 而是变压器各侧电流互感器的暂态特性不一致形成的差流造成的, 在此基础上提出处理方案, 问题得到解决。

关键词: 差动保护; 恢复性涌流; 变压器

Analysis of the maloperation of transformer differential protection caused by recovery inrush

YOU Fu-sheng

(Guangdong Electric Power Design Institute, Guangzhou 510663, China)

Abstract: It is said that, when the fault which is outside the transformer is being cleared, it will cause current inrush. This situation is just like the no-load switch-on. This paper takes a real malfunction of transformer differential protection as an example, and gets the reason of recovery inrush by analysing the electromagnetism transient process. And then it builds a digital model and a physical mode to analyze this situation. At last, the conclusion is reached that the differential current caused by the different transient characteristic of current transformer caused the malfunction of differential protection but not the recovery inrush. A reorganization scheme is proposed.

Key words: differential protection; recovery inrush; transformer

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1673-3415(2008)15-0085-03

0 引言

近年来, 变压器差动保护在区外故障切除后出现误动的情况时有发生, 一般认为变压器区外故障切除后, 出现的涌流情况与空载合闸过程一致^[1]。变压器出现励磁涌流主要是由于变压器铁心饱和后引起的^[2], 因此本文通过某变电站主变在高压侧 220kV 输电线路发生三相短路故障切除后, 引起主变差动保护误动为例, 分析 220kV 输电线路三相短路故障切除后引起的变压器电磁暂态过程, 分析外部故障切除后电压恢复过程与变压器铁心保护的关系, 分析差动电流的成因, 进而说明了影响恢复性涌流的因素。通过数字仿真模型和动模数据分析, 说明变压器外部故障恢复性涌流本身不会造成差动保护误动作, 而是变压器各侧电流互感器的暂态特性不一致形成的差流造成的, 在此基础上提出处理方案, 问题得到解决。

1 区外故障切除时的恢复性涌流

220 kV 输电线路故障切除后, 变压器差动保护误动时系统接线图如图 1 所示。

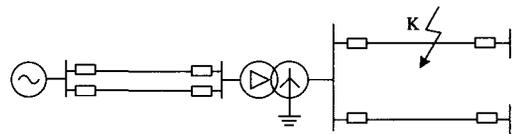


图 1 变压器外部故障接线图

Fig.1 Diagram of transformer during an external fault

为了分析方便, 假设故障发生时刻为起始时刻, 也就是在 $t=0$ 时刻变压器区外 K 点发生三相短路故障, 在 $t=\tau$ 时刻故障被切除。

1.1 变压器内部磁通分析

变压器正常运行时, 假设电源电势 $u = U_m \sin(\omega t + \alpha)$, 忽略变压器一次侧回路电阻和电抗, 近似认为励磁支路电势与电源电势相等, 则

铁芯中的稳态磁通

$$\Phi(t) = -\Phi_m \cos(\omega t + \alpha) \quad (1)$$

单相变压器的 T 型等效电路图如图 2 所示。

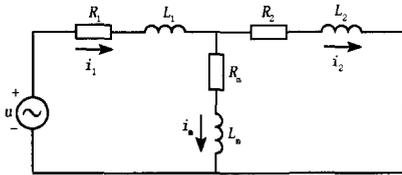


图 2 单相变压器的 T 型等效电路图

Fig.2 T equivalent circuit of single-phase transformer

1.2 变压器区外故障发生时

在 $t=0$ 时刻变压器区外发生故障，变压器二次侧回路参数突变为 R_{2K} 和 L_{2K} ，我们用 h 来表示外部故障的严重程度，则

$$h = |R_{2K} + jX_{2K}| / |R_1 + jX_1 + R_{2K} + jX_{2K}|$$

其中： R_1 和 X_1 分别是变压器一次侧回路电阻和电抗（包括系统电抗和变压器一次侧漏抗）， R_{2K} 和 X_{2K} 分别是变压器区外故障时经过归算后的二次侧回路电阻和电抗（包括系统电抗和变压器一次侧漏抗），则变压器铁芯在外部故障时的磁通

$$\Phi(t) \approx -h\Phi_m \cos(\omega t + \alpha) - \Phi_m(1-h)\cos\alpha \quad (2)$$

1.3 变压器区外故障切除时

在 $t=\tau$ 时刻外部故障被切除，此时，电压恢复，又可以近似认为变压器励磁支路电势与电源电势相等，则变压器铁芯在外部故障切除时的磁通

$$\Phi(t) \approx -\Phi_m \cos(\omega t + \alpha) - \Phi_m(1-h)\cos\alpha + \Phi_m(1-h)\cos(\omega\tau + \alpha) \quad (3) \quad t > \tau$$

如果忽略变压器外部故障切除后的负荷电流，假设故障电流在 τ 时刻恰好过零，再进一步忽略外部故障发生时的负荷电流，则式(3)可以简化为

$$\Phi(t) \approx -\Phi_m \cos(\omega t + \alpha) - \Phi_m(1-h)\cos\alpha + \Phi_m(1-h)e^{-\tau/T_k} \cos\alpha \quad (4) \quad t > \tau$$

其中： $T_K = X_K / \omega R_K$ ， R_k 、 X_k 分别是故障点到系统电源的等效电阻和电抗， $R_K = R_1 + R_{2K}$ ， $X_K = X_1 + X_{2K}$ 。

定义 $\Phi_1 = -\Phi_m(1-h)\cos\alpha$ ，则式(4)变为

$$\Phi(t) \approx -\Phi_m \cos(\omega t + \alpha) + \Phi_1(1 - e^{-\tau/T_k}), \quad t > \tau \quad (5)$$

由式(5)可知，磁链 $\Phi_1(1 - e^{-\tau/T_k})$ 跟变压器外部故障发生时刻的电势相角 α 、故障严重程度 h 、故障切除时刻 τ 以及故障回路的时间常数 T_k 这四个参数有关，在变压器铁芯磁化曲线确定的情况下，磁链 $\Phi_1(1 - e^{-\tau/T_k})$ 的数值将决定铁芯饱和的程度，

因此，变压器外部故障发生时刻的电势相角 α 、故障严重程度 h 、故障切除时刻 τ 以及故障回路的时间常数 T_k 这四个参数决定了恢复性涌流的大小。

2 动模波形

图 3 是变压器外部故障切除后恢复性涌流产生的差流波形，图 4 是变压器恢复性涌流中的二次谐波含量。图 4 中 I_{A1} 、 I_{B1} 、 I_{C1} 是 A、B、C 三相差流中的基波， I_{A2} 、 I_{B2} 、 I_{C2} 是 A、B、C 三相差流中的二次谐波。图 5 是变压器恢复性涌流的差动保护动作特性分析。左边图上 I_z 和 I_d 分别是 A、B、C 三相差流中的制动电流和动作电流，右边图是 A、B、C 三相差动保护的的动作轨迹。

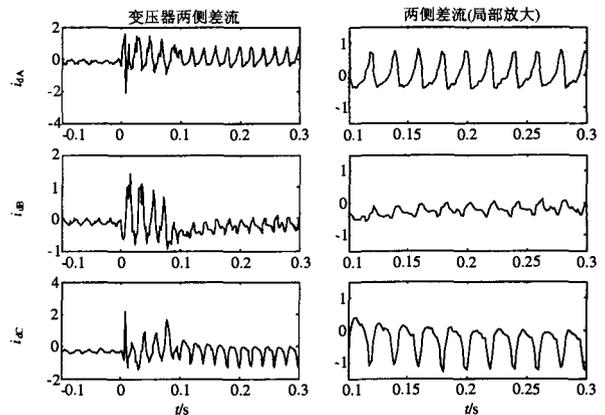


图 3 变压器外部故障切除后恢复性涌流产生的差流波形

Fig.3 Waveform of transformer recovery inrush after clearance of external faults

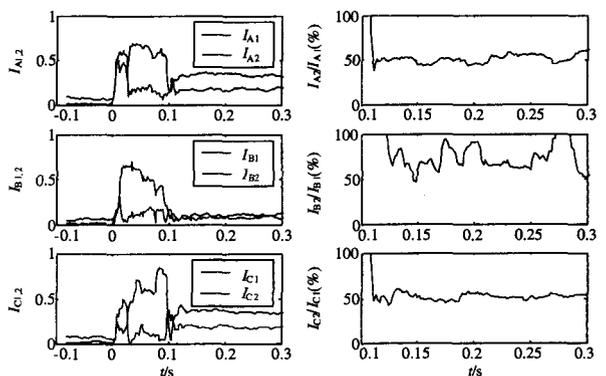


图 4 变压器二次谐波含量

Fig.4 Secondary harmonic component ratio in transformer

3 结果分析

变压器能否出现恢复性涌流以及出现恢复性涌流的大小与变压器外部故障发生时刻的电势相角

α 、故障严重程度 h 、故障切除时刻 τ 以及故障回路的时间常数 T_k 这四个参数有关。

通过图 3、图 4 和图 5 分析可知, 变压器在外部故障切除后形成的恢复性涌流的主要特征为:

a、峰值较小(与空载合闸时产生的励磁涌流相比), 达不到差动保护的启动判据;

b、二次谐波含量高, 即使差动保护能够启动, 二次谐波制动判据也能可靠闭锁。

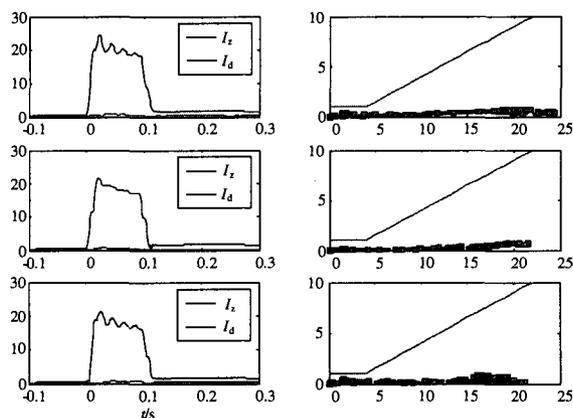


图 5 变压器恢复性涌流的差动保护动作特性分析

Fig.5 Operation characteristics analysis of transformer differential protection with recovery inrush

通常差动保护采用的电流互感器为保护级(P级), 其误差只考虑一次电流为稳态电流, 不考虑暂态过程中的非周期分量电流的影响, 也就是说保护级电流互感器(P级)在暂态过程中不能保证其误差要求。当外部故障切除后产生非周期分量电流时, 就会造成差动保护不平衡电流的增加。

在外部故障切除后, 差动保护容易误动的原因分析:

a) 在外部故障切除后, 变压器差动保护中的制动电流由故障电流恢复成正常的负荷电流, 制动量明显减小;

b) 在外部故障切除后, 由于非周期分量的影响, 使各侧电流互感器暂态传变特性不一致而产生差流, 这样差流就包含电流互感器引起的差流和恢复性涌流两部分, 动作量增大;

c) 由于电流互感器暂态特性不一致引起的差流的存在, 可能导致差流中的二次谐波含量小于

整定值, 二次谐波制动判据可能失效。

当差流大于差动保护启动值、制动量恢复成正常的负荷电流、二次谐波含量小于整定值的情况下, 区外故障切除后就可能导致差动保护误动。

4 结论

综上所述, 变压器外部故障切除后形成的恢复性涌流本身不能引起差动保护误动, 但由于外部故障切除后非周期分量的影响, 变压器各侧电流互感器的暂态特性不一致形成的差流是造成变压器差动保护区外故障切除后误动的原因。考虑到上述问题, 更换电流互感器, 保证电流互感器暂态传变特性在允许范围内, 合理调整保护整定参数, 在以后运行过程中, 再也没有出现由于线路故障切除导致变压器差动保护误动的情况, 问题得到解决。

参考文献

- [1] 史世文. 大机组继电保护[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.
SHI Shi-wen. Large-scale Generator-transformer Units Protection[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1987.
- [2] 林湘宁, 刘沛. 变压器外部故障切除后差动保护误动的机理分析[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(19): 57-60.
LIN Xiang-ning, LIU Pei. Mechanism Analysis of the Maloperation of Transformer Differential Protection After External Fault Clearance[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(19): 57-60.
- [3] 刘中平, 陆于平, 袁宇波. 变压器外部故障切除后恢复性涌流的研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(8): 41-44.
LIU Zhong-ping, LU Yu-ping, YUAN Yu-bo. Study of Transformer Recovery Inrush After Clearance of External Faults[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(8): 41-44.

收稿日期: 2008-06-18; 修回日期: 2008-07-03

作者简介:

游复生(1971-), 男, 工程师, 从事变电站电气二次专业设计和技术质量管理工作。E-mail: youfusheng@gedi.com.cn