

一起变压器差动保护误动事故的分析 and 对策

裘愉涛¹, 姚斌², 屠黎明^{1,2}, 刘建飞^{1,2}

(1. 华北电力大学电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室, 北京 102206;

2. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085)

摘要: 通过变压器空载合闸时差动保护误动事故的分析, 对波形对称原理识别励磁涌流的能力作了进一步的分析 and 研究。研究表明, 励磁涌流在间断角较小的情况下, 采用分相制动的波形对称原理因波形对称度较好而导致差动保护误动。针对波形对称原理的特征, 给出了四个应对策略, 综合考虑差动保护的可靠性和安全性, 建议波形对称原理采用“三取二”的闭锁方式。

关键词: 励磁涌流; 差动保护; 波形对称; 误动

Analysis of mal-operation of transformer differential protection

QIU Yu-tao¹, YAO Bin², TU Li-ming^{1,2}, LIU Jian-fei^{1,2}

(1. North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 2. Beijing Sifang Automation Co., Ltd, Beijing 100085, China)

Abstract: Differential protection based on waveform symmetry is furtherly studied and analyzed through a mal-operation incident when the unloaded power transformer is connected to the power system. Research shows that differential protection based on waveform symmetry and phase-braking scheme can make a mal-operation when current wave's dead angle is small and waveform is almost symmetrical. Four strategy methods are presented according to the characteristics of waveform symmetry. Considering reliability and security of differential protection, three-take-two braking scheme is suggested.

Key words: inrush current; differential protection; waveform symmetry; mal-operation

中图分类号: TM774 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)08-0020-03

0 引言

差动保护是电力变压器的主保护, 如何可靠地识别励磁涌流和故障电流一直是变压器差动保护需要解决的主要难题。目前工程上广泛采用的识别励磁涌流的方法有二次谐波制动、间断角原理和波形对称原理。

二次谐波制动主要利用励磁涌流中二次谐波分量较大的特点, 由于变压器励磁涌流的波形和谐波特征与变压器合闸时刻有关, 某些情况下可能导致二次谐波份量很小, 因此采用一相闭锁三相的“或”门闭锁方式。这样做的弊端是当空投于内部故障时, 由于非故障相的励磁涌流存在, 差动保护在励磁涌流衰减后才会动作。对于大型电力变压器, 其衰减时间常数较大, 涌流衰减需要的时间较长, 因此保护延时较长, 造成变压器保护的拒动。

间断角原理利用励磁涌流波形中的间断特征, 其优点可采用分相闭锁, 能够快速切除合闸于内

部故障的情况, 其缺点是电流互感器饱和时, 间断角消失, 必须采取额外的措施来恢复间断角, 这样增加了保护装置软件的复杂性。同时为了提高相角比较的正确性, 就必须提高采样率, 并抑制 AD 转换芯片在零点附近的转换误差。因此该方法还需要在实际应用中进一步完善。

波形对称原理基于故障电流呈正弦的对称特征, 而励磁涌流并不具有该特征。对差动电流进行微分, 将微分后差流的前半波和后半波做对称比较, 连续比较半个周波, 根据波形的对称程度来快速识别涌流。该原理便于微机保护实现, 并采用分相制动的的方式, 避免“或”门制动方式存在的问题。

1 分析

某 220 kV 主变 Y/Y/d11 接线, 配有两套差动保护, 其中差动保护 I 采用二次谐波原理识别励磁涌流, 差动保护 II 采用波形对称原理识别励磁涌流。在变压器检修完毕后在高压侧进行空载合闸操作时

差动保护 II 出口动作, 差动保护 I 未动作。经仔细检查, 变压器其本身并无故障, 结合保护装置的录波数据, 可以确定差动保护 II 为误动。图 1 为本次空投时的三相电流录波图。

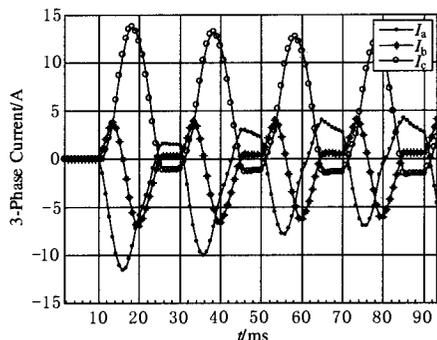


图 1 高压侧三相电流波形

Fig.1 Three-phase current waveform on high-voltage side

高压侧电流相位转换后, 差动电流波形如图 2 所示。

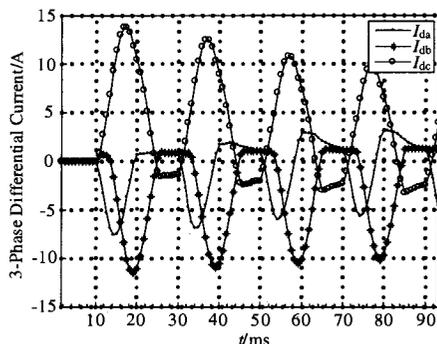


图 2 三相差动电流波形

Fig.2 Three-phase differential current waveform

经计算, 其差动电流的二次谐波含量如图 3 所示。

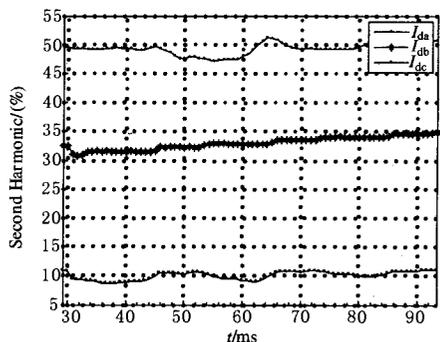


图 3 二次谐波含量

Fig.3 Percentage of secondary harmonic

从图 2 和图 3 可以看出, C 相电流波形间断角很小, 波形比较对称, 接近正弦波, 其二次谐波含量甚至不足 10%。由于差动保护 I 采用二次谐波制动原理, 一相闭锁三相, 其中 A、B 两相的二次谐波含量均大于定值 15%, 因此该套差动保护没有误动。

差动保护 II 采用波形对称原理, 分相闭锁。当满足式 (1) 时, 认为该点为对称点。若有 50% 的点为对称则认为波形为对称, 开放差动保护。

$$\left| \frac{i'(t) + i'(t - N/2)}{i'(t) - i'(t - N/2)} \right| \leq K \quad (1)$$

式中: N 为每周采样点数; t 为当前点。

取对称门槛 $K=1/3$, 计算得到差动电流的对称点的百分比如图 4 所示。空投后 C 相的波形对称系数在动作边界 50%。在 46 ms 时刻开始, C 相的对称系数超过了门槛 50%, 从而导致差动保护 II 出口动作。

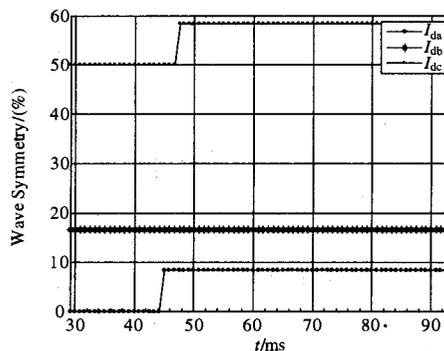


图 4 波形对称点百分比

Fig.4 Percentage of wave symmetry point

2 对策

差动保护 II 误动的原因主要是 C 相差流波形间断角很小、波形接近正弦, 波形对称度较好。为了避免此种情况的误动, 可采取的对策有:

1) 调整波形对称判别的门槛 K 值。对纯正弦波形而言, 式 (1) 理论值为 0。差动保护 II 中 K 取 $1/3$ 是考虑了一定的裕度。文献[2]对波形对称原理的不对称度 K 值作了详尽的分析, 认为 K 取 0.4 时可以很好的闭锁保护, K 取 0.3 则对三相短路可能拒动。因此, 可适当降低 K 值, 当然, K 值的选择也不宜过低, K 值的选取原则还需要在理论上做进一步的研究。

2) 调整波形对称百分比门槛。文献[1]认为, 励磁涌流波形约有 $1/4$ 周期以上的点不满足式 (1)。因为 $1/4$ 周期正好占半波点的 50%, 相当于最小间

断角为 90° 的情况。从这个角度说, 波形对称原理选取 50% 作为对称百分比门槛是合理的。显然, 间断角越小, 则不满足对称点的点越小。对于现代大型变压器, 励磁涌流的最小间断角更小, 因此, 可以适当降低波形对称的百分比门槛。但降低该门槛, 会降低差动保护的可靠性, 需要慎重考虑。

3) 由于硬件水平条件所限, 目前微机保护装置大多采用每周 24 点的采样率。对于波形对称原理而言, 由于要计算对称点所占计算数据窗点数的百分比, 因此采样率越高, 则所计算的百分比的离散性越小。以 24 点为例, 1 个点的偏差就会导致 $1/12$ 即 8.33% 的偏差。因此, 适当提高采样率将有利于波形对称性的门槛的设定。

4) 波形对称原理采用分相闭锁是为了解决“或”门制动在空投于内部故障时保护可能延时动作的问题。长期的运行实践表明, 在空投变压器的时候, 总有一相的电流的涌流特征非常明显, 间断角较大, 波形不对称, 易于识别。考虑到变压器空载合闸多在高压侧 Y 接线侧进行, 实际参与涌流判别的是 I_a-I_b 、 I_b-I_c 和 I_c-I_a 。因此, I_a 、 I_b 和 I_c 只要有一相的励磁涌流特征明显, 相电流做差后就会有两相有较为明显的励磁涌流特征, 图 3 的二次谐波含量情况也符合这个规律。当发生故障时对于相间故障, 至少有两相具有故障特征; 对于单相接地故障, 其中一相为故障电流特征, 相电流做差后, 会有两相具有故障电流特征。因此可以考虑采用“三取二”的方式, 即有两相电流波形呈对称特征时, 认为是故障电流, 开放差动保护。

由于波形对称原理并没有开放给用户的相关定值项, 因此方法 1 和方法 2 只能在理论上作为避免波形对称原理误动的策略。而且, 对称门槛 K 和对称点百分比这两个参数尚无明确的理论计算依据。方法 3 是作为波形对称原理采样率的一个定性分析, 采样率越高越有利于波形对称的准确界定。综合考虑到差动保护的安全性和可靠性, 针对本次事故的改进措施是采用方法 4 作为应对策略。实践证明, 调整为“三取二”方式后, 差动保护 II 再无误动现象。

3 结语

本文结合一起变压器空载合闸时差动保护的误动事故对波形对称原理在识别励磁涌流的能力上作了分析和比较。波形对称原理本身易于通过微机来实现, 但其波形不对称度 K 值的选取, 对称点百分比的选取以及对采样率的要求都还需要在理论上作进一步的分析和明确, 促进波形对称原理在变压器

差动保护的励磁涌流识别问题上发挥更大作用。建议基于波形对称原理的变压器差动保护采用“三取二”的闭锁方式, 运行实践表明“三取二”方式是有效的。

参考文献

- [1] 孙志杰, 陈云仓. 波形对称原理的变压器差动保护[J]. 电力系统自动化, 1996, 20(4): 42-46.
SUN Zhi-jie, CHEN Yun-cang. Differential Protection of Power Transformer Based on Waveform Symmetry Principle[J]. Automation of Electric Power Systems, 1996, 20(4): 42-46.
- [2] 苗友忠, 贺家李, 孙雅明. 变压器波形对称原理差动保护不对称度 K 的分析和整定[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(16): 26-29.
MIAO You-zhong, HE Jia-li, SUN Ya-ming. Analysis and Setting of Asymmetry Degree K of Transformer Differential Protection Based on Symmetry Principle of Current Waveforms[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(16): 26-29.
- [3] 李贵存, 刘万顺, 刘建飞, 等. 用波形拟合法识别变压器励磁涌流和短路电流的新原理[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(14): 15-18.
LI Gui-cun, LIU Wan-shun, LIU Jian-fei, et al. New Principle of Discrimination Between Inrush Current and Fault Current of Transformer Based on Forecasted Waveform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(14): 15-18.
- [4] 李文文, 崔新艺, 陶慧良. 利用间断角原理的数字式变压器保护的研究[J]. 电力自动化设备, 1997, (2): 25-29.
LI Wen-wen, CUI Xin-yi, TAO Hui-liang. The Study of Digital Transformer Protection by Dead Angle[J]. Electric Power Automation Equipments, 1997, (2): 25-29.
- [5] 朱亚明, 郑玉平, 叶锋, 等. 间断角原理的变压器差动保护的性能特点及微机实现[J]. 电力系统自动化, 1996, 20(11): 36-40.
ZHU Ya-ming, ZHENG Yu-ping, YE Feng, et al. Performance and Digital Realization of Transformer Differential Relay Based on Dead Angle Philosophy[J]. Automation of Electric Power Systems, 1996, 20(11): 36-40.

收稿日期: 2007-11-16; 修回日期: 2007-11-29

作者简介:

袁愉涛 (1967-), 男, 大学本科, 主要从事继电保护及安全自动装置的技术管理工作; E-mail: qiu_yutao@dc.zpepc.com.cn

姚斌 (1977-), 男, 硕士, 主要从事电力系统故障分析、微机继电保护算法和微机保护装置的研发工作;

屠黎明 (1972-), 男, 博士, 主要从事微机继电保护等方面的研究工作。