

500 kV 变压器空载合闸重瓦斯误动事件分析及防范

梁文腾

(江苏省电力公司检修分公司苏州分部,江苏 苏州 215000)

摘要:通过对一起合空载变压器重瓦斯保护动作事故分析并参考近年来类似案例,发现变压器瓦斯继电器二次回路故障、励磁涌流产生的变压器振动和油流涌动可能导致重瓦斯继电器误动。提出采取措施抑制励磁涌流降低瓦斯继电器误动可能性,对不同合闸角下变压器励磁涌流进行仿真,精确控制合闸角抑制励磁涌流理论可行。同时提出提高变压器制造工艺可以有效降低变压器冲击电流下的绕组振动和油流涌动。

关键词:瓦斯继电器,励磁涌流,合闸角,油流涌动

中图分类号:TM407

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0013-03

重瓦斯保护是变压器主保护,能直接反映变压器本体内部所有短路故障造成的严重发热现象而直接出口跳闸,有效避免短路故障对主变本体的损坏,具有较高的灵敏性和准确性。但是近年来国内多次发生变压器本体重瓦斯保护误动事故,由于主变重瓦斯动作须对变压器进行严格检查和取油样测试等复杂流程确定主变无内部故障后方可投运,对电力系统和变压器可靠性运行产生一定的影响^[1]。据统计,重瓦斯误动作事故中主要异常情况为流过变压器本体的穿越性大电流和合空载变压器励磁涌流。近日,华东电网某500 kV变电站在主变更换保护后复役送电过程中发生重瓦斯保护动作事故,结合近年来类似的案例,分析了其产生误动的原因,并提出了防范措施。

1 事故过程简介

2012年10月,华东电网某500 kV变电站进行2号主变压器保护更换工作结束后复役操作。经一次、二次设备检查完成,变压器保护投入运行。在复役过程中使用2号主变500 kV开关充电,合闸后160 ms发生主变跳闸。检查发现2号主变非电气量保护屏上显示B相本体重瓦斯保护动作,其他保护均未动作。随后对现场进行主变外观检查、二次回路检查、油样检查和录波分析。

现场检查未发现设备异常,2号主变本体外观正常,无渗漏油现象,瓦斯继电器外观正常,内部充满油。二次回路检查结果正常,直流系统绝缘正常。采集2号主变三相本体油样进行油样分析正常,在确认变压器无故障之后再次试送电成功。

故障录波器打印报告显示,主变高压侧B电流二次值约为0.7 A(一次值2 800 A),A相C相二次值约为0.3 A(一次值1 200 A),电流持续时间约为160 ms。故障录波显示主变高压侧电流为典型励磁涌流。

2 跳闸事故原因分析

该次事故跳闸主变压器在复役之前完成了主变保护更换工作。通过检查可以排除内部短路和保护装置的明显故障。

正常情况下重瓦斯继电器动作条件为油流冲击挡板、变压器油面过低导致下浮球下摆或实验探针按下。该次事故后检查变压器油位正常且实验探针无人触碰,故油流冲击挡板或二次回路节点误接通是保护误动的原因。

在冲击电流的作用下,内部绕组线圈会瞬间受到较大的电动力,进而使主变内部绕组迅速产生形变、位移和振动并在变压器内产生油流涌动。绕组振动还会使主变本体发生振动。继电器瓦浮筒、挡板、信号和跳闸接点若不可靠,受到振动后可能会直接误接通跳闸节点。而油流涌动则会冲击气体继电器挡板使其直接动作。

在该案例中合闸后出现数倍于额定电流的励磁涌流,变压器会产生油流涌动和变压器本体振动。事故后检查二次回路及保护装置均无故障,对变压器检查确认无故障后试送电成功。该误动具有偶然性,故二次回路节点受振动误接通和油流涌动冲击造成保护误动的可能较大。

在相关事故案例中有出现变压器振动导致重瓦斯接点抖动误接通以及油流涌动造成误动的情况^[2,3]。文献[4]中变压器保护误动事故后对气体继电器的抗震性能进行了试验,结果发现在大力敲击时会发生气体继电器的误动作。气体继电器的抗震性能较差的情况下,主变震动可能会发生继电器误动作。

3 重瓦斯保护误动作防范措施

通过对该案例的事故调查以及相关案例分析,可以发现重瓦斯保护误动作,排除主变本体油路堵塞、气

体继电器故障、二次回路故障和保护异常等可控因素后,应当主要从变压器励磁涌流消除措施和降低冲击电流产生的变压器震动和油流涌动来考虑。而在实际生产中应做好气体继电器的设计安装和试验工作。

3.1 抑制变压器励磁涌流方法

电力系统中电力变压器复役操作充电过程中的励磁涌流普遍存在,具有很大的危害性。目前尚未有保护装置可以完全避免励磁涌流误动作的可能性,且励磁涌流可能会对主变本体造成损伤。国外已有因励磁冲击电流过大产生机械应力而导致变压器线圈机械强度降低或损伤的报道^[3]。因此采取措施控制变压器励磁涌流是解决问题的根本方法。

降低变压器励磁涌流的最直接方法是通过控制变压器剩磁和偏磁对主磁通的叠加作用,即有效降低主磁通中的初始磁通。初始磁通由剩磁通和偏磁通组成。控制励磁涌流即控制变压器剩磁和偏磁作用。

变压器结合电阻测量时,会在铁心中存留下很大的剩磁,已投运变压器在停役之后也会产生剩磁通。因此,对 500 kV 变压器进行高压绕组的直流电阻测试时,必须限制测试电流。而变压器退出运行时产生的剩磁并不是随机的,该剩磁与前一次切出电网的励磁电流存在一一对应的关系,通过记录在变压器分闸时刻的电流可以准确计算出铁心剩磁。对比铁心的时效特性,得出最佳的合闸角度,可以控制励磁涌流不再出现。同时在手动切除变压器的时刻,如果能控制断路器的分闸时刻,就可以控制分闸时刻的电压相位,从而控制剩磁的大小和极性。

在没有剩磁的情况下只要控制断路器在电源电压相位的 90° 或者 270° 时刻合闸,则变压器空投时不会有励磁涌流。对于可以分相操作的三相变压器,通过计算将每一相分别合闸于电压相位角 90° 时刻,可有效控制励磁涌流大小。

采用 PSCAD/EMTDC 软件对不同合闸角下的变压器励磁涌流进行仿真,选取单相双绕组变压器,系统仿真模型如图 1 所示。

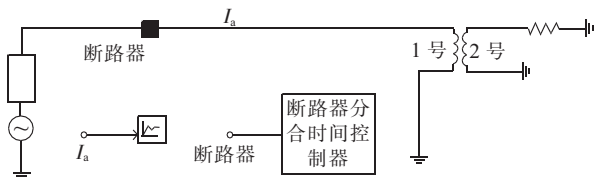
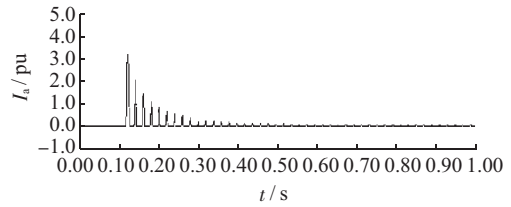


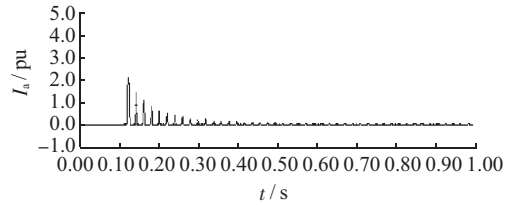
图 1 变压器励磁涌流仿真模型

选取合闸时间 0.100 s (0°), 0.102 s (36°), 0.103 s (54°), 0.105 s (90°) 不同合闸角下变压器励磁涌流波形如图 2 所示。

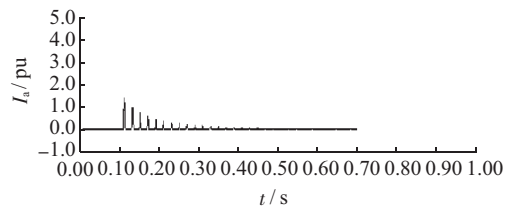
仿真结果表明,在合闸角为 0° 时变压器产生的励磁涌流将可以达到额定电流的 3.2 倍。随着合闸角



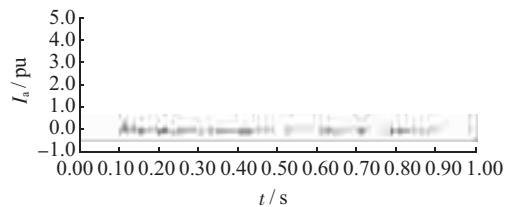
(a) 合闸时间 0.100 s



(b) 合闸时间 0.102 s



(c) 合闸时间 0.103 s



(d) 合闸时间 0.105 s

图 2 合空载变压器励磁涌流

的增加,励磁涌流逐渐降低。当合闸角为 90° 时,变压器无励磁涌流出现。

采用多组不同合闸角进行励磁涌流仿真,得到在不同合闸角下的励磁涌流数值曲线,如图 3 所示。

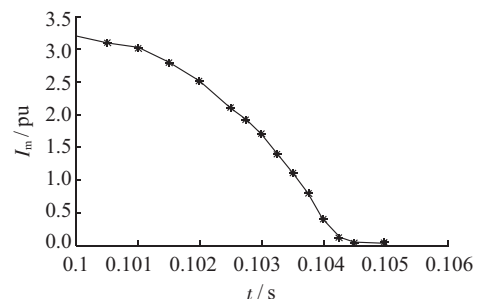


图 3 不同合闸角下励磁涌流分布曲线

曲线显示,当合闸角接近 0° 或 90° 时变压器励磁涌流变化较小。但在半个周波 (10 ms) 中,若保证合闸角低于 1.7 倍额定电流仍需要控制合闸时间在最佳合闸角在 $\pm 2\text{ ms}$ 以内。因此,只有精确控制合闸角在最佳合闸角一定范围内才能有效控制励磁涌流。

在有剩磁的情况下采用理想状态合闸角 (90°) 合闸时其励磁涌流并不为 0。而随着合闸相位的正弦值

逐渐接近剩磁比时,励磁涌流呈现逐步减小的趋势。因此,在电力生产中,通过记录变压器上一次退出运行时励磁电流相位及铁心磁通的时效特性可以惟一确定该剩磁,并通过控制合闸角将励磁涌流减小到最低值^[5]。

从理论上讲,在准确测量电源测电压相位的情况下可以精确控制合闸角。但在实际中控制装置的动作时间、出口继电器动作时间以及断路器合闸时间具有一定的分散性,其动作时间误差产生的合闸角误差大于 90° 。根据仿真结果,为了有效控制合闸角电流需要依赖对断路器合闸时间的精确控制到毫秒级。在三相电力变压器中必需令断路器三相分时相合闸,但很多断路器在结构上根本无法分相操作。相信随着电力电子技术的发展,采用精确控制合闸角来消除变压器励磁涌流的方法将很快用于生产实际。

3.2 变压器冲击电流下的油流涌动分析

除直接控制励磁涌流之外,采取措施降低冲击电流带来的油流涌动问题是解决瓦斯继电器误动作的主要方法。对于电力变压器,即使是在外部穿越性大电流下重瓦斯保护仍然有误动作的可能性。

首先,通过改善变压器结构设计降低变压器绕组振动和位移,文献[6]提出建立变压器绕组轴向机电耦合的动力学模型,研究变压器绕组的机电耦合振动稳定性问题,分析得到了模型变压器绕组主要设计参数的稳定域和不稳定域。对冲击电流条件下变压器瓦斯继电器安装点油流测速可以间反映变压器绕组的稳定性,并作为瓦斯继电器流速整定的重要依据。其次,提高变压器本体的抗震性。绕组的剧烈振动会直接变压器本体振动,从而产生更大的油流涌动。

4 结束语

综上所述,变压器瓦斯继电器二次回路故障、励磁涌流产生的变压器振动和油流涌动是变压器重瓦斯保护误动作的可能因素。采取措施抑制励磁涌流能有效减少油流涌动和变压器本体震动的情况,进而减少瓦斯继电器误动的可能性。对不同合闸角下的励磁涌流仿真发现分相合闸角精确控制抑制励磁涌流的方法理论可行,但需要精确至毫秒级的断路器合闸时间控制。提高变压器制造工艺也可减少绕组在大电流下的振动和油流涌动。相信随着电力技术的迅速发展,合闸角控制技术消除变压器励磁涌流的理论方法将能很快应用于生产实践中。

参考文献:

- [1] 贺家李,宋从矩.电力系统继电保护原理[M].3版.北京:中国电力出版社,1994.
- [2] 鲍有理,周小强.500 kV 主变 B 相瓦斯保护跳闸事件分析[J].江苏电机工程,2010,29(3):16-20.
- [3] 王清璞,刘霞,刘海涛,等.500 kV 主变压器空载合闸重瓦斯保护动作跳闸分析[J].河北电力技术,2007,26(4):49-51.
- [4] 关建军,吕群贤,刘敏,等.降压变压器重瓦斯保护误动的原因分析[J].变压器,2010,47(3):73-74.
- [5] 李钜,乌云高娃,刘涤尘.Preisach 模型剩磁计算与抑制励磁涌流合闸角控制规律[J].电力系统自动化,2006,30(19):37-41.
- [6] 王璋奇,王孟.电力变压器绕组轴向振动稳定性分析[J].中国电机工程学报,2002,22(7):25-28.

作者简介:

梁文腾(1988),男,山东兖州人,硕士,从事变电站运维工作。

Analysis on Event of Heavy Gas Protection Malfunction Closing 500 kV No-load Transformer

Liang Wen-teng

(Suzhou Section of Jiangsu Electrical Power Maintenance Branch Company, Suzhou 215000, China)

Abstract: Through the analysis of heavy gas protection malfunction on closing no-load transformer, and then taking reference on the similar cases happened in recent years, this paper finds that secondary circuit failure, transformer vibration and oil flowing caused by magnetizing inrush may lead to heavy gas protection malfunction. The measure is proposed to reduce the possibility of heavy gas protection malfunction caused by the transformer inrush current and magnetizing inrush of transformer in different closing angles situations is simulated. This article also proposes that eliminating magnetizing inrush by precise control of the closing angle is theoretically possible. Based on the analysis above, the proposed measure can decrease winding vibration and oil flowing caused by the impact of current in transformers.

Key words: gas relay; magnetizing inrush; closing angle; oil flowing

欢迎投稿 欢迎订阅