

一起和应涌流造成主变跳闸的事件分析

陈冬冬¹, 潘彦峰¹, 余 斌², 陈 坤³, 李智琦³

(1. 国网电力科学研究院, 江苏 南京 211100; 2. 国网湖南省电力有限公司电力科学研究院, 湖南 长沙 410007; 3. 国网湖南省电力有限公司常德供电分公司, 湖南 常德 415000)

摘 要: 差动保护是变压器的主保护, 通常配置二次谐波判据, 实现励磁涌流和故障电流的区分, 防止励磁涌流造成主变误跳闸。相较于励磁涌流, 和应涌流具有一定的特殊性和隐蔽性, 在空投变压器场景下, 可能引起其他正常运行变压器的误动。文中以一起现场和应涌流造成的主变差动保护跳闸事件为例, 介绍该事件发生的过程, 分析其原因, 最后针对性地提出预防建议和措施, 有效地保障电力系统的安全稳定运行。

关键词: 主变差动保护; 二次谐波制动判据; 事故分析; 应对措施

中图分类号: TM 773+.4 **文献标志码:** B **文章编号:** 1006-348X(2025)02-0063-04

0 引言

作为电力系统的重要主设备, 变压器对保障电力系统的安全稳定运行至关重要。差动保护作为变压器的主保护, 具有反应绕组及引线间短路故障的作用, 区分异常涌流和故障电流特征一直是差动保护的研究重点^[1-2]。为避免变压器空载投入和外部故障切除时的励磁涌流引起差动保护误动, 保护装置经常通常基于二次谐波制动原理进行判别^[3-4]。随着研究的深入, 和应涌流所具有的危害性也引起了学者们的关注^[5-6]。

和应涌流本质上是空投变压器的励磁涌流流过系统阻抗和线路阻抗, 使得正常工作变压器的母线电压偏移, 造成其铁芯饱和引起的^[7]。近年来发生了多起由于励磁涌流造成正常运行变压器跳闸的事故, 有关学者对相关原理开展了广泛的研究; 文献[8-9]根据现场工程经验, 提出二次谐波闭锁判据不能有效闭锁和应涌流, 可通过短时抬高差动保护定值或改变中性点运行方式的方法解决和应涌流造成的误动问题; 而文献[10]指出断开中性点接地不能消除和应涌流造成的影响; 文献[11]基于励磁涌流和和应涌流电流特征接近提出和应涌流本身不会以引起差动保护误动, CT的局部暂态饱和才是差动保护动作的主要原因;

文献[12]对二次谐波制动励磁涌流判据, 和电流互感器饱和判据, 对和应涌流现象闭锁作用的有效性进行了讨论, 提出和应涌流造成差动保护误动的主要因素在于CT饱和, 这个判据对涌流闭锁有一定的作用; 文献[13-14]分析了运行变压器带负载情况下复杂和应涌流的电流特征, 提出了基于二次谐波变化量的制动判据。

文中对一起和应涌流引起正常运行变压器跳闸的典型事故案例进行讨论, 对事故过程和事故发生的原因进行分析, 结合保护装置基本原理给出本次事故的诱发因素, 并基于此给出具体的改进措施和建议。

1 事件过程

1.1 事件概要

某日 23 时 07 分, 某 35 kV 电站在 1 号主变的检修复电工作过程中, 进行 410 断路器合闸充电时, 站内正常运行的 2 号主变差动保护动作出口, 跳开 2 号主变 320 断路器和 420 断路器, 由于 10 kV 负荷已转供, 未造成负荷损失。23 时 17 分, 1 号主变复电完成。

1.2 故障前运行方式

事故发生前, 该 35 kV 变电站 2 号主变 420、320 断路器合位正常运行, 35 kV 线路 I、35 kV 线路 II、35 kV

收稿日期: 2024-09-02

作者简介: 陈冬冬(1984), 男, 大学本科, 工程师, 研究方向为电力系统自动化。

故障分析

FAULT ANALYSIS

线路III正常运行;1号主变检修,10 kVI母及其相关间隔、母联300间隔检修;10 kVII母及相应的10 kV线路正常运行。主接线方式如图1所示。

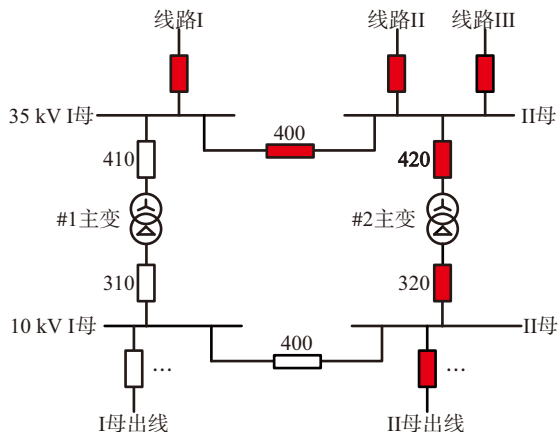


图1 某35 kV变电站故障前运行方式

2 事件情况及分析

2.1 保护动作情况

2号主变差动保护装置于2015年投运。根据2号主变差动保护装置动作报文显示,23时07分50秒,717 ms整组启动,6 ms后差动动作,此时A相差动电流 $I_{CD-A}=0.338$ A,B相差动电流 $I_{CD-B}=0.149$ A,C相差动电流 $I_{CD-C}=0.238$ A,A相制动电流 $I_{RD-A}=0.212$ A,B相制动电流 $I_{RD-B}=0.099$ A,C相制动电流 $I_{RD-C}=0.159$ A。查阅2号主变差动保护装置定值单,差动启动电流为0.28 A。查阅保护装置说明书的差动保护动作特性,此时A相差动电流已经达到动作条件,故差动保护正确动作,应对差动保护的動作原因进行分析。

2.2 现场设备检查

2.2.1 一次设备检查

现场检查2号变压器本体及各附件无异物附着,本体、套管及两侧引线均无对外壳或相间的显著放电痕迹,避雷器无击穿痕迹,同时对2号主变本体绝缘油进行取样及油色谱分析,实验数据均显示各气体含量合格,本体无放电类及过热故障。

2.2.2 二次设备检查

现场检查2号主变保护压板及二次快分开关投退等投退情况,未发现明显异常,相关保护装置定值与调度下发的正式定值单一致,核算2号主变差动定值均无异常。检查2号主变各侧电流互感器各保护

绕组接线情况,经二次升流、电流回路绝缘检查等试验,数据均无异常。

检查站内其余保护装置故障发生时间段内的运行工况,发现2号主变高压侧保护、2号主变低后备保护、1号主变高压侧保护、35 kV线路III保护同时间段保护均有启动。

3 事故分析

基于现场实际工程经验,一台变压器空投时引起另一台并联变压器跳闸的原因多是和应涌流造成的。查阅保护装置说明书,发现该装置配置了二次谐波制动闭锁判据,但没有配置CT饱和和闭锁判据。和应涌流和励磁涌流特征类似,均含有明显的谐波分量,理论上变压器配置的二次谐波制动判据通常能够正确闭锁差动保护,下面进行进一步分析。

3.1 保护动作情况

调取2号主变差动保护动作时刻装置录波情况,进行进一步分析,录波波形如图2所示。



图2 2号主变差动保护高压侧电流故障录波

图中 I_{AH} 、 I_{BH} 和 I_{CH} 分别为2号主变高压侧电流的录波波形。由故障录波波形可知,2号主变高压侧电流波形明显尖顶、间断特性,且波形偏向时间轴一侧,有明显的谐波分量存在。对电流波形进行谐波分析结果如图3所示。

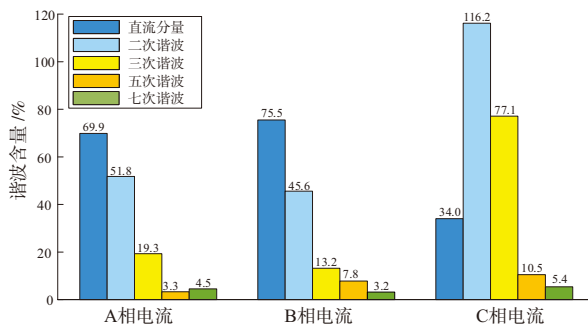


图3 2号主变高压侧电流谐波分析

将某种谐波与基波幅值之比定义为谐波含量,从图3中可以看出,此时2号主变高压侧可以看出各相

电流均有明显的谐波分量,此时高压侧A相二次谐波含量达到51.8%。

同步调取1号主变高后备录波进行对比分析如图4所示。

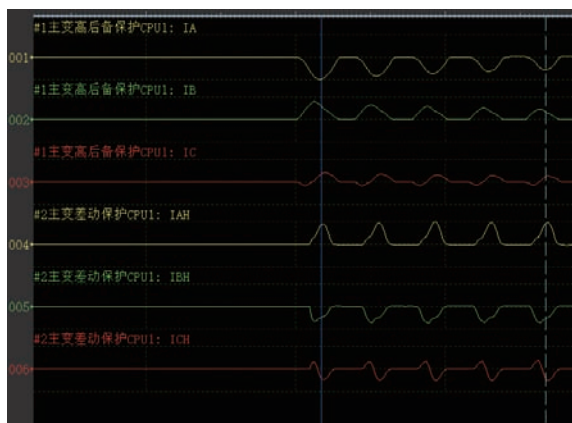


图4 主变高压侧电流保护录波对比分析

根据图4可以看出,两台主变的涌流方向相反,符合一台主变空载投运另一台主变正常运行过程中发生和应涌流现象。2号主变在1号主变空载合闸励磁涌流的直流分量和高电压共同作用下,产生和应涌流,此涌流方向与励磁涌流方向相反,即当空载变压器合闸时铁芯正向饱和时,运行变压器的铁芯反向趋于饱和。

查阅装置说明书,据采用三相差流中的二次谐波含量作为涌流闭锁的判据,任意一相差流中的二次谐波含量大于15%时(保护定值单的二次谐波制动系数整定为0.15),差动保护闭锁,理论上即使差动动作电流值满足动作条件,二次谐波应可靠制动,差动保护应可靠不动作。为解决上述问题,应进行进一步的现场保护逻辑校验。

3.2 保护逻辑校验情况

在变压器高压侧A相通以适当的二次谐波电流进行实验,受变压器相位调整的影响,在A、C两相上都形成差流。现场人员进行保护装置逻辑校验时发现,若差流小于0.4 A,涌流谐波制动判据不会动作,如图5所示。



图5 差流小于0.4 A时涌流制动判据不动作

而当差流大于0.4 A时,涌流谐波制动判据正常

动作,如图6所示。



图6 差流大于0.4 A时涌流制动判据正常动作

通过与制造厂家核实,该装置在研发初期存在下述隐藏固有逻辑(此逻辑并未在装置说明书中):二次谐波制动判据增加了差流无流门槛判据(本装置门槛设置为0.4 A,即 $0.08 I_n$, I_n 为装置二次CT额定电流),当差流低于此门槛值时,二次谐波制动会判定退出。该判据的设置是为了加快变压器内部故障时的动作速度,在检测到变压器有负荷电流或负荷电压时就会退出涌流制动环节。

根据以上检查情况来看,1号主变在进行复电过程中,由于系统阻抗的存在,伴随着空载变压器合闸的励磁涌流,与之并联运行的变压器随之产生和应涌流,此涌流特性与励磁涌流特性相似,此时涌流产生的差流为0.338 A,小于0.4 A,造成此时2号主变差动保护涌流制动判据退出,使得差动保护开放,最终导致比率差动保护动作。

3.3 事故原因

综上分析,导致本次2号主变差动保护跳闸的原因如下:

1) 1号主变空载合闸时产生励磁涌流,与此同时励磁涌流中的直流分量使2号主变饱和,在其绕组出现和应涌流,使2号主变差动电流回路A相电流达到整定值。420电流互感器在非周期分量影响下很容易达到暂态饱和,因两侧TA的暂态特性不一致产生差流。

2) 制造厂家对于该装置涌流制动的设计存在不合理。该装置差动保护启动定值为0.28 A,而装置内部二次谐波制动判据的差流无流门槛为0.4 A,当差流落在0.28 A和0.40 A之间时,存在涌流制动失效的情况,将导致小差流的情况下,涌流制动没有正确闭锁差动保护,造成差动保护误动作。

综上所述,1号主变空载合闸时,2号主变随之产生的和应涌流是导致本次事件的直接原因,而制造厂家对于该装置涌流制动判据的设计缺陷是本次事件的根本原因。

4 改进措施及建议

4.1 改进措施

现提出以下两种解决方案:

1) 在满足灵敏度要求的前提下,适当提高差动启动电流定值,使其大于 $0.08 I_n$ 。

2) 优化二次谐波差流门槛:(1) 正常情况下,差动定值大于 $0.08 I_n$ 时,二次谐波制动判据的差流无流门槛为 $0.08 I_n$;(2) 差动定值小于 $0.08 I_n$ 时,二次谐波制动判据的差流无流门槛设置为0.9倍的差动定值。

对修改逻辑后装置进行录波回放,同样故障波形,优化逻辑后的保护装置在差流落在0.28 A和0.40 A之间时,满足差动启动定值条件,可以通过二次谐波判据可靠闭锁,仅保护启动不动作,波形如图7所示。

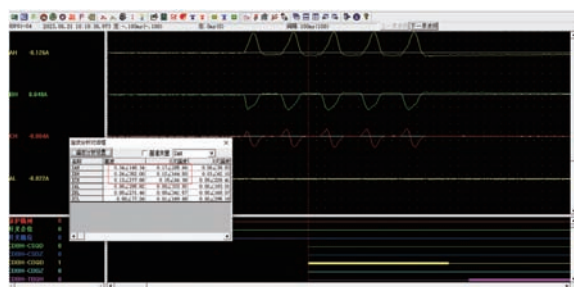


图7 优化二次谐波差流门槛后的录波回放

4.2 建议

1) 排查同型号版本主变差动保护装置运行情况,是否存在上述动作逻辑隐患,结合停电进行试验验证,在装置硬件支持的情况下,对此逻辑进行升级,从源头上避免此特殊情况下引起的系统突变对保护装置动作逻辑的影响。

2) 当一台主变空充时,在不增加电网风险的情况下,尽量选择不带并列运行变压器冲击,充完再并列。

3) 主变在冲击前进行消磁,避免各种试验产生的大量剩磁增加主变的励磁涌流。

参考文献:

- [1] 孙向飞,束洪春.不同相位补偿方式下变压器差流特性研究[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2013,38(4):48-53.
- [2] 姚东晓,张凯,贺要锋,等.变压器多特征励磁涌流识别方案研究[J].电力系统保护与控制,2017,45(13):149-154.
- [3] 刘小宝,吴崇昊,宋艳,等.基于二次谐波的自适应制动涌流方案[J].电力系统保护与控制,2010,38(18):131-134,139.
- [4] 张双梓,王铮,孙世勇,等.变压器差动保护二次谐波制动方案分析与改进[J].电测与仪表,2014,51(23):123-128.
- [5] 李熙彬.和应涌流导致相邻机组差动保护误动分析[J].电世界,2021,62(10):14-16.
- [6] 张雪松,何奔腾.变压器和应涌流对继电保护影响的分析[J].中国电机工程学报,2006(14):12-17.
- [7] 束洪春,贺勋,李立新.变压器和应涌流分析[J].电力自动化设备,2006(10):7-12.
- [8] 上官帖,谌争鸣,郭军燕.和应涌流对变压器差动保护的影响及对策[J].华中电力,2004(5):50-52.
- [9] 王怀智,孙显初,常林.和应涌流对变压器差动保护影响的试验研究[J].继电器,2001(7):52-54.
- [10] 毕大强,孙叶,李德佳,等.变压器中性点接地方式对和应涌流产生的影响分析[J].继电器,2007(20):7-12.
- [11] 郑涛,赵萍.和应涌流对差动保护的影响因素分析及防范措施[J].电力系统自动化,2009,33(3):74-78.
- [12] 毕大强,孙叶,李德佳,等.和应涌流导致差动保护误动原因分析[J].电力系统自动化,2007(22):36-40.
- [13] 王奕,戚宣威,罗航,等.复杂和应涌流及其对电流差动保护的影响[J].电力系统自动化,2014,38(6):98-105.
- [14] 金明亮,尹项根,游大海.复杂和应涌流导致差动保护误动的原因与对策[J].中国电机工程学报,2011,31(1):86-93.