

电流互感器饱和对继电保护装置动作影响分析与对策

何小飞,王锐,李江陵,钟斌,杨永忠
(国网乐山供电公司,四川乐山 614000)

摘要:对电流互感器饱和对继电保护装置动作产生的影响进行了分析,介绍了电流互感器发生稳态和暂态保护现象的原理。并通过两个实际案例分别对两种饱和情况影响继电保护装置正确动作过程进行了深入研究。最后针对可能造成的影响分别从设备选型、电网运行方式调整、保护装置研发改进以及保护定值调整4个方面提出了详细的措施建议。事实证明,通过这些措施可以有效降低电流互感器饱和对于继电保护装置的影响。

关键词:电流互感器;饱和;继电保护动作;稳态、暂态分析

Abstract: The impact of current transformer saturation on the action of relay protection devices is analyzed, and the principle of steady-state and transient protection occurring in current transformer is introduced. The process of correct action of relay protection devices affected by two saturations is studied separately in two actual cases. Finally, the detailed measures and suggestions are proposed according to the possible impacts as viewed from the type selection of equipment, the adjustment of grid operation mode, the development and improvement of protection devices and the setting of protection respectively. The facts prove that through these measures it can effectively reduce the impact of current transformer saturation on relay protection devices.

Key words: current transformer; saturation; relay protection action; steady-state and transient analysis

中图分类号: TM734 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)03-0046-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.03.011

0 引言

电流互感器及其二次回路的可靠性和保护装置的正确动作密不可分,而事实上对保护定值的正确性、保护装置的可靠性很重视,但是对于继电保护装置所选用的电流互感器参数选择及实际特性校验重视度不够^[1],下面结合乐山公司发生的两起因TA饱和造成的保护装置拒动和误动事件进行分析,并结合实际情况对TA的参数选择和减小因TA饱和造成影响提出一些措施建议。

1 电流互感器的选型原则

目前保护用的电流互感器可分为两类:一类是P类电流互感器,包括PX、PR两类,该类电流互感器准确限值为稳态对称短路电流的复合误差或励磁特性拐点来确定的;另一类是TP类电流互感器,该类电流互感器的准确限值是考虑一次电流同时具有周期和非周期分量,并按照某种工作规定的暂态工

作的峰值误差来确定的。该类电流互感器适用于考虑短路电流中非周期分量暂态影响的情况^[2]。

由于220 kV及以下系统暂态饱和问题及其影响后果较轻,因此保护用的电流互感器一般按稳态条件选择,选用P类互感器。而对于330 kV及以上系统,由于一次时间常数较长,电流互感器暂态饱和影响较严重,由此造成保护误动和拒动后果严重,因此所选用的互感器应保证不能造成暂态饱和,宜选用TP类电流互感器^[3]。

2 电流互感器饱和理论分析

根据对电流互感器饱和现象的研究,电流互感器饱和现象分为两种:一种是大容量稳态短路电流引起的饱和(稳态饱和);另一种是由于短路电流中含有非周期分量和铁心存在剩磁而引起的饱和(暂态饱和)^[4]。在稳态对称短路电流(非周期分量)下,影响电流互感器的主要因素有:短路电流幅值、二次回路阻抗。在实际短路暂态规程中,短路电流可能存在非周期分量而严重偏移。这可能造成电流

互感器严重暂态饱和。

2.1 稳态电流饱和

稳态电流饱和是指当电流互感器通过稳态短路电流超过一定值时,互感器铁心将出现饱和。这种饱和情况下二次电流出现波形畸变,呈脉冲波形,正负半波大体对称。对于反映电流值相关的保护,如过电流保护和阻抗保护,饱和将使灵敏度降低,甚至拒动。而对于差动保护,由于差电流取决于两侧互感器饱和特性差异,如果两侧互感器饱和特性差异较大,一侧饱另一侧不饱,则在区外故障时,差动保护可能误动,电流互感器发生稳态电流饱和时二次谐波中的谐波分量主要是三次谐波,二次谐波分量几乎没有或较好。

2.2 暂态电流饱和

短路电流中一般含有非周期分量,特别是在高压系统中,短路电流的非周期分量更加显著,这将使电流互感器的传变特性严重恶化,原因是电流互感器的励磁特性按照工频设计的,在传变等效频率很低的非周期分量时,铁心磁通(即励磁电流)需要大大增加,非周期分量导致互感器暂态饱和时二次电流是不对称的,波形会朝着一方整体上移^[5],如图1所示。这样就更加速了互感器的饱和。电流互感器发生暂态电流饱和时二次电流中谐波分量主要是二次谐波,三次谐波分量较少。

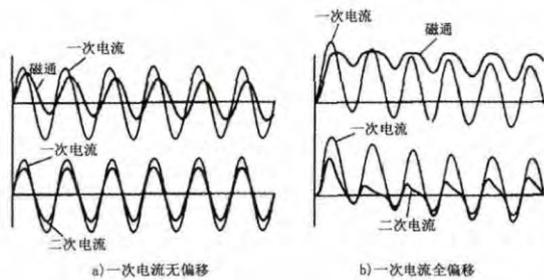


图1 TA饱和时一次侧有无非周期分量传变特性对比

3 实例分析

3.1 案例分析1

2014年11月17日0时26分,110kV斑竹湾站10kV斑肖线955开关柜出线电缆接头处短路故障,955开关保护拒动,1号主变压器低后备保护过流I段动作跳开930开关,2号主变压器低后备过流IV段动作跳开102、902开关,造成10kV II段母线失电。

1) 故障分析

根据保护动作报文得知此次故障为三相短路,901和902开关TA变比3500/5,955开关TA变比200/5,由主变压器录波电流(901+902=20+16=36A)换算出流经955开关TA的一次故障电流约为25200A(930跳开后降为14000A),二次故障电流630A。955开关TA的精确级为5P10,即在额定电流10倍以内(准确度限值电流为200×10=2000A),TA误差不大于±5%,但实际的故障电流约为额定电流的126倍。由图3可看出,故障发生时,955开关TA已严重饱和,波形畸变严重,基波分量很小且含有大量谐波,造成线路保护拒动。

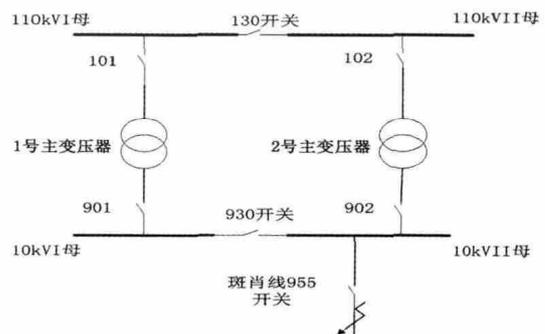


图2 110kV斑竹湾站主接线图



图3 斑肖线B、C相故障电流波形图

2) TA热稳定校验

根据以上分析得知当时三相短路电流为25.2kA,动稳定电流为 $2.55 \times 25.2 = 65.26$ kA。

斑肖线TA热稳定电流值为31.5kA及以上,动稳定电流为80kA及以上,而主变压器低后备保护切除本侧动作时间为1.7s。

10kV母线短路热稳定值为 $25.2^2 \times 1 = 635$,TA的热稳定值为 $31.5^2 \times 1.7 = 1686 > 635$,因此热稳定满足要求。

3) TA动稳定校验

母线短路动稳定值为65.26kA,TA的动稳定值为80kA > 65.26kA,因此动稳定满足要求。

4) 分析结论

从以上分析可知,是由于斑肖线TA的准确值

限数与TA变比组合不满足,使得当发生近区故障时,短路电流大于准确限值,造成TA严重饱和,传变性能下降,波形畸变,造成了线路过流保护采样装置无法采集到实时电流量造成保护拒动。

3.2 案例分析2

2011年10月23日19时31分,110kV黄土变电站1号主变压器区外发生故障,故障点在开关柜内部上方,故障类型为AC相短路。在此次故障中,1号主变压器的两套差动保护装置动作为不一致,第1套保护动作报文显示:0000ms差动保护启动,0027ms差动保护出口,三相差流分别为: $I_{CDA} = 5.198\text{ A}$, $I_{CDB} = 0.155\text{ A}$, $I_{CDC} = 5.425\text{ A}$ 。第2套保护装置的动作为:0000ms差动保护启动,三相差流分别为: $I_{CDA} = 0.002\text{ A}$, $I_{CDB} = 0.002\text{ A}$, $I_{CDC} = 0.004\text{ A}$,由于是区外故障,可以基本断定1号主变压器第1套保护屏在此次故障属于误动作。

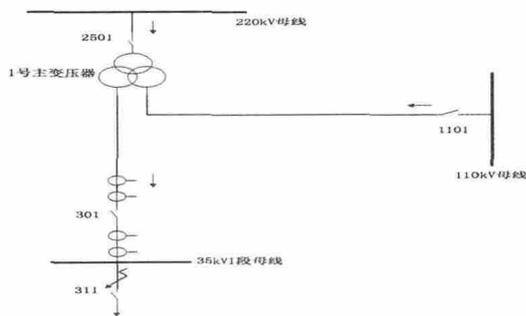


图4 110kV黄土变电站主接线图

1) 故障分析

对于1号主变压器差动保护来说,上述故障为区外故障,但从故障录波图中可看到,1号主变压器35kV侧二次电流发生严重畸变(A、C相)。其中1号主变压器差动保护动作报告中显示A相差流为5.198A,C相差流为5.425A,这说明故障发生时,A、C相TA发生饱和导致二次电流无法如实反映一次电流。A相二次谐波含量为0.805A,C相二次谐波含量为0.535A。

根据故障数据,绘制差动保护特性图得知,A、C相已落入比率制动差动保护动作区,因此符合动作条件;且A相电流中二次谐波含量为 $0.805/5.198 = 15.5\%$,C相电流中二次谐波含量为 $0.535/5.425 = 9.86\%$,故障谐波含量未达到保护定值整定的20%;因此差动保护动作开放。

2) TA稳态特性分析

通过故障录波图可得出35kV侧实际三相短路

电流 $I_{dA} = 11\ 571.5\text{ A}$, $I_{dB} = 10\ 946.9\text{ A}$, $I_{dC} = 11\ 604.9\text{ A}$,由于35kV侧变比为2000/5,这说明,35kV侧A、C相TA在一次电流在不到额定电流的6倍时就开始饱和。

而35kV侧TA的准确限值数为10P20,随后对35kV侧TA进行伏安特性测试和10%误差测试。从试验结果看,35kV侧TA一次流过10倍额定稳态电流时,保护的二次绕组误差不会超过10%。

3) TA暂态特性分析

造成TA饱和的各种因素中,除了流过TA的故障短路大小外,一次电流的偏移程度同样是造成TA饱和的一个重要原因,这种偏移正是短路电流中含有大量的非周期分量。实际上由于短路电流非周期分量的影响,即使短路电流值不大,也可能产生严重暂态饱和而造成很大误差。

4) 分析结论

通过以上分析,可推断出本次差动保护误动是由于主变压器低压侧TA出现暂态饱和,造成差动保护感受到差流,落入保护动作区,二次谐波制动未达到闭锁值,最终造成区外故障时主变压器差动保护误动。

4 提高TA抗饱和能力的措施建议

1) 加强对TA选型工作。根据《电流互感器选用导则》,加大TA动热稳定参数、TA变比和准确限值数的校核选择。对于TA动热稳定校验,应按照各站最大运行方式下的最大短路电流值来核算^[6],使得TA的动热稳定值应大于这个短路电流值。在TA准确限值系数选择上,应按照TA一次额定电流 \times TA准确值系数 $>$ 最大短路电流值,才能确保TA的误差在合格范围内。

需要注意的是在TA选型时,还需考虑TA的安装尺寸是否满足现场开关柜的相间以及相对高压开关柜柜体的安全净距。因为准确限值系数越高,TA的铁心越大,设计宽度也会越大,成本也会越高;而TA变比越大,测量误差也会越大,因此在TA选型时应结合实际情况综合考虑。

2) 开展变压器抗短路能力的校核工作,根据设备的实际情况有选择性的加装中性点小电抗、限流电抗器等,对不满足要求的变压器进行改造或更换。在核算时应特别注意主变压器并列数量对短路电流

表1 常用限制短路电流方法比较

方案	设备造价	施工周期	限制效果	易于实现程度	占地	自身安全性	运维
中性点电抗	较低	短	只对单相短路有效	容易	较小	好	简单
大容量高速开关限流	较低	短	较好	一般	较小	一般	动作后需更换部分元件
固定串抗	一般	短	一般	容易	较小	较好	简单
可控串抗	高	一般	好	较难	较小	一般	较难且成本高

的影响。计算表明,主变压器高、中压侧发生短路时短路电流与主变压器并列数量影响不大,而低压侧(中压侧没有电源情况下)发生短路时,流过主变压器的短路电流与并联数量有明显关系^[7]。数据显示,同一变电站内,并联变压器数量越多,低压侧短路电流值越大,即低压侧采用分列运行方式能减小短路电流值。

目前主要采用的限制短路电流的方法包括:改变中性点接地方式或加装小电抗抑制单相短路电流;大容量开关限流;出线加装固定串联电抗器;加装新型可控串联限抗;变压器分列运行,这些方法各种优劣。

除中性点加装小电抗为单一针对单相短路电流的限流措施,其他几种方法都是针对三相短路情况的。对于低压侧故障,则可采用低成本、技术成熟的出线加装固定电抗的方式^[8]。

3) 采用具有抗饱和能力的继电保护装置

目前中国各保护装置厂家都在研究继电保护装置的抗TA饱和能力,并已取得了一些成果,在220kV及以上的主变压器差动和母线差动保护装置中,均设置有TA饱和检测元件,可以有效避免差动保护因TA饱和造成区外故障时误动。

目前TA饱和检测元件原理有两种:一种是采用自适应阻抗加权抗饱和方法,即利用电压工频变化量起动元件自适应开放加权算法^[9];另一种是目前常采用是谐波制动方法,利用TA饱和后,无论是稳态还是暂态分量都有大量二、三次谐波分量,通过检测电流中二、三次谐波含量作为判据。当与某相差动电流有关的电流满足整定定值时即认为此相差流为TA饱和引起,闭锁差动保护。该方法有效避免差动保护因TA饱和造成区外故障误动,但无法在TA饱和时对电流类保护出现拒动及时发现采取措^[10]。

4) 调整保护定值,缩短故障时间

从以上两个案例可知:当发生近区故障时,如果

TA饱和造成保护拒动,这时主变压器后备保护定值又整定不当,不能及时切除故障短路电流,将可能造成对主变压器的严重冲击,甚至对主变压器低压侧绕组造成损坏。因此针对主变压器近区短路这一情况,如果TA因现场实际无法满足相关要求,可考虑对线路保护以及主变压器后备保护定值进行调整,在确保不越级误动的情况下,尽量缩短故障时间,减少故障损失。

目前,乐山公司35kV出线过流II段最长时限整定为0.9s;35kV出线过流III段最长时限为1.5s;10kV出线过流II段最长时限为0.7s;10kV出现过流III段最长时限为1.2s。调整后:一是对于35kV、10kV侧后备保护跳相应侧分段时限,以较短时限跳相应分段开关,快速隔离故障。整定主变压器10kV侧后备跳分段930开关时限统一按0.8s整定;35kV侧后备跳分段530开关时限统一按1.0s整定(与相应出线最长时限有0.1s级差,不致频繁动作);二是对于35kV、10kV侧后备保护跳本侧,与相应出线保护过流III段完全配合,整定35kV、10kV侧出线过流III段与相应电压等级主变压器后备跳本侧段电流定值有不小于1.1的配合系数,时限级差不小于0.3s,通过调整保护定值,达到缩短故障切除时间目的。

5 结 论

对电流互感器饱和对继电保护装置动作影响进行介绍,结合乐山公司发生的两起事件分别进行了详细分析,并分别从互感器本身、电网运行方式、继电保护装置等方面提出了改进措施。事实上,电流互感器饱和一直是影响继电保护动作的一个重要因素,通过近些年的努力,也取得了很大进步,相信通过各方面的努力,电流互感器饱和对保护装置的影响将逐步消除。

(下转第77页)

bility Model of Large Wind Farms for Power System Adequacy Studies [J]. Energy Conversion, IEEE Transactions on, 2009, 24(3): 792 - 801.

- [6] Haghi, H. V., S. M. Hakimi, and S. M. M. Tafreshi. Optimal Sizing of a Hybrid Power System Considering Wind Power Uncertainty Using PSO - embedded Stochastic Simulation [C]. in Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), 2010 IEEE 11th International Conference on. 2010.
- [7] 鲍晓慧, 侯慧. 电力系统可靠性评估述评 [J]. 武汉大学学报: 上海工学版, 2008(4): 96 - 101.
- [8] 蒋小亮. 风电并网对电力系统可靠性和备用影响研究 [D]. 上海交通大学, 2011.
- [9] 曲翀, 王晋丽, 谢绍宇, 等. 不同风速模型和可靠性指标对风电可信容量评估的影响 [J]. 电网技术, 2013

(10): 2896 - 2903.

- [10] 石文辉, 别朝红, 王锡凡. 大型电力系统可靠性评估中的马尔可夫链蒙特卡洛方法 [J]. 中国电机工程学报, 2008(4): 9 - 15.
- [11] 王学良. 风电场可靠性评估研究 [D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [12] Karki, R., H. Po, and R. Billinton. A Simplified Wind Power Generation Model for Reliability Evaluation [J]. Energy Conversion, IEEE Transactions on, 2006, 21(2): 533 - 540.
- [13] Sulaeman, S., M. Benidris, and J. Mitra. A Method to Model the Output Power of Wind Farms in Composite System Reliability Assessment [C]. in North American Power Symposium (NAPS) 2014.

(收稿日期: 2015 - 02 - 12)

(上接第 49 页)

参考文献

- [1] 梁国艳, 梁中华. 电流互感器饱和的检测方法及在微机母线保护中的应用 [J]. 东北电力技术, 2006(12): 66 - 70.
- [2] 王燕. 电流互感器的误差及其对继电保护的影响 [J]. 东北电力技术, 2009(1): 66 - 70.
- [3] 王优胤. 大型发电机变压器组差动保护用电流互感器选型 [J]. 东北电力技术, 2010(6): 25 - 28.
- [4] 毕大强, 冯存亮, 葛宝明. 电流互感器局部暂态饱和识别的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2012(11): 24 - 27.
- [5] 景敏慧, 孔萧迪. P 类电流互感器饱和原因分析及对策 [J]. 电力系统自动化, 2007(11): 45 - 48.
- [6] 任先文, 徐宏雷, 孙楷琪. 非周期分量对电流互感器饱和和特性的影响的仿真 [J]. 电力系统保护与控制, 2009

(3): 30 - 33.

- [7] 邓旭阳, 索南加乐, 李广. 基于参数识别的电流互感器的识别原理研究 [J]. 电力系统自动化, 2010(8): 42 - 45.
- [8] 陈建玉, 孟宪民, 王志华. 电流互感器饱和对继电保护影响的分析及对策 [J]. 电力系统自动化, 2004(10): 32 - 35.
- [9] 柳树. 电流互感器饱和过程分析及对策 [J]. 华北电力技术, 2009(3): 37 - 40.
- [10] 陈玥名, 崔广泉, 刘长江. 电力电流互感器检测试验方法研究 [J]. 东北电力技术, 2009(11): 3 - 6.

作者简介:

何小飞(1986), 硕士, 工程师, 目前从事继电保护装置运维检修工作;

王锐(1975), 本科, 高级工程师, 主要从事变电检修技术工作。
(收稿日期: 2015 - 02 - 02)

(上接第 57 页)

参考文献

- [1] 郭小江, 郑超, 尚慧玉, 等. 西藏中部同步电网安全稳定控制研究 [J]. 电网技术, 2010, 34(6): 87 - 92.
- [2] 吕虎, 谢国平, 朱艺颖, 等. 青藏直流接入西藏电网数模混合仿真 [J]. 电网技术, 2013, 37(2): 455 - 459.
- [3] 唐晓骏, 刘东冉, 陈麒麟, 等. 青藏直流接入后西藏地区电网电压/无功控制 [J]. 电网技术, 2010, 34(9): 94 - 99.
- [4] 赵文强, 王杨正, 李林, 等. 青藏直流联网工程大负荷

试验策略研究 [J]. 电网技术, 2014, 38(11): 3052 - 3058.

- [5] 吴冲, 刘汉伟, 董卫国, 等. 青藏直流联网后藏中电网安全稳定控制系统的重构 [J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(1): 54 - 57.
- [6] 李惠军, 汤奕, 李雪明, 等. 电源送出安全稳定控制系统典型方案及装置主辅运设置原则分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(4): 141 - 145.

作者简介:

王郑锋(1982), 工程师, 主要研究领域为电网规划设计。

(收稿日期: 2015 - 02 - 28)