

电流互感器饱和引起的保护拒动分析

结合一起10 kV线路因电流互感器（TA）饱和引起越级跳闸事故，详细分析了TA饱和的原理和特性以及TA饱和对电力系统微机保护装置的影响，并结合事故情况提出了防止TA饱和的应对措施。

单国栋 罗 怀 黄子珍/广西电网公司柳州供电局



单国栋/工程师

继电保护学科随着电力系统的发展而发展。现代电力系统非常复杂，区域电网之间的互联使得电力系统一旦发生短路，将产生很大的短路电流，对配电设备和用电设备都将产生较大影响，严重时甚至烧毁一次设备。随着主网的加强和配网之间的改造，新型保护装置的大量采用，中低压系统中由于电流互感器（TA）饱和引起的保护拒动和越级跳闸事故频频出现。下面结

合广西电网公司柳州供电局近期发生的一起10 kV线路出口近处故障，线路保护拒动而造成主变压器低压侧后备保护越级跳闸，分析TA饱和对继电保护装置的影响以及防止TA饱和的应对措施。

系统图及开关动作情况

110 kV浮石站主变压器低压侧系统图如图1所示。各开关的动作情况如下表所示。浮石站1#主变压器低压侧后备保护复压过电流 I 段动作，低压侧941开关跳闸；10 kV分段940开关过电流 I 段保护动作，10 kV分段940开关跳闸；10 kV I、II 段母线的馈线开关均无跳闸；10 kV I 段母线失电压。

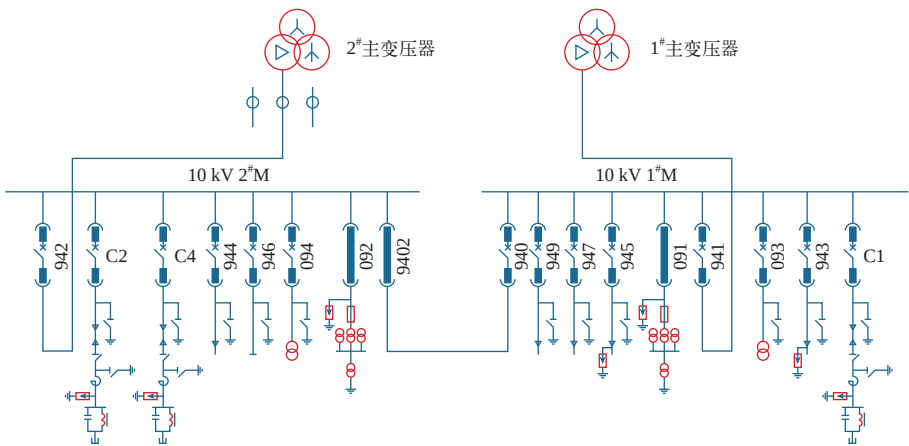


图1 110 kV浮石站主变压器低压侧系统图

表 各开关保护定值及开关动作情况

开关设备	TA电流比	保护定值/A	动作值/A	动作情况
1#主变压器低压侧941开关	2 000/5	复压过电流 I 段定值：10.5 (1.2 s)	28.92	跳闸
10 kV分段940开关	2 000/5	过电流 I 段定值：9 (0.8 s)	24.12	跳闸
10 kV融安线943开关	300/5	I 段过电流定值：26 (0.5 s)	—	没有动作
10 kV铁路线945开关	300/5	I 段过电流定值：25 (0.5 s)	—	没有动作

关键词/Keywords

电流互感器 ·
饱和 ·
设备检查 ·
故障分析 ·

设备检查、试验及TA饱和分析

1. 设备检查及试验

现场检查浮石站10 kV融安线943、铁路线945出线龙门架六根跳线烧断，铁路线945出线龙门架内侧两相搭接，断线弧光灼伤瓷瓶表面。针对故障情况，对融安线943、铁路线945馈线开关及电缆回路进行绝缘检查和电气试验，各项电气试验指标合格，未发现异常情况；对10 kV I段母线进行检查，也未发现异常情况。针对开关拒动情况，对融安线943、铁路线945馈线保护装置进行检查，经保护定值校核、二次回路通电试验及开关传动检查，保护动作正常、信号正确，装置与二次回路绝缘及直流电源无异常情况。对融安线943、铁路线945线路TA电流比测试均合格；从电气伏安特性测试情况看，TA二次电流大于6 A以上时，电压曲线呈平滑上升趋势，有饱和的迹象，电流大于6.5 A以上时开始进入饱和区。

2. TA饱和的理论分析

TA运行特性与其一次电流大小和性质密切相关，当一次电流为基波且在一定范围内变化时，TA处于稳态运行，二次电流与一次电流呈线性关系。当电力系统发生短路时，由于一次电流中含有较大的非周期分量，将使电流偏向于时间轴一侧，电流互感器的铁心将会饱和。由于三相电路的对称性，以简单的单相电路，如图2所示，简要说明这一原理，即

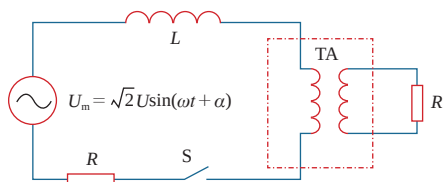


图2 单相电路图

$$Ri + L \frac{di}{dt} = U_m \sin(\omega t + \alpha) \quad (1)$$

$$i = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \alpha - \varphi) - \frac{U_m}{Z} \sin(\alpha - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2)$$

式中， j 为线路阻抗角； α 为合闸初相角； t 为时间常数。由上式可知， i 由周期性分量和非周期性分

量两部分组成。正常情况下， j 近似为 90° ，当 $\alpha = 0^\circ$ 时，非周期分量最大；当 $\alpha = 90^\circ$ 时，非周期分量近似为0。

由仿真分析可知，当TA饱和时，一次电流和二次电流的传变特性将发生很大改变。当TA含有剩磁， $\alpha = 90^\circ$ 时（合闸时间为0.025 s），非周期分量近似为0，二次电流能够准确反映一次电流的情况，磁通为交变正弦波形，如图3所示。当TA含有剩磁， $\alpha = 0^\circ$ 时（合闸时间为0.02 s），非周期分量最大，二次电流无法准确地反映一次电流的情况，出现了波形的畸变，过零点提前，二次电流减小等情况，磁通近似饱和，如图4所示。当TA含有剩磁， $\alpha = 90^\circ$ 时（合闸时间为0.025 s），非周期分量近似为0，二次侧开路时，会在二次侧产生很高的电压，磁通在饱和之间变化，如图5所示。当TA含有剩磁， $\alpha = 90^\circ$ 时（合闸时间为0.025 s），非周期分量近似为0，一次电流很大时，二次电流波形也发生畸变，如图6所示。

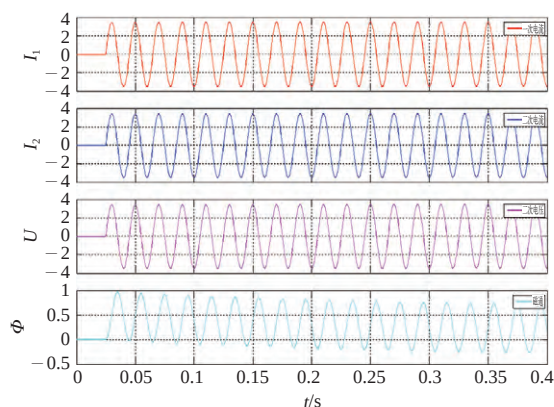


图3 正常时的电流、电压和磁通波形

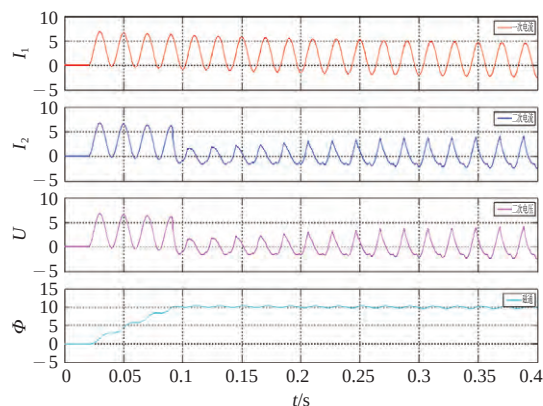


图4 含有非周期分量时电流、电压和磁通波形

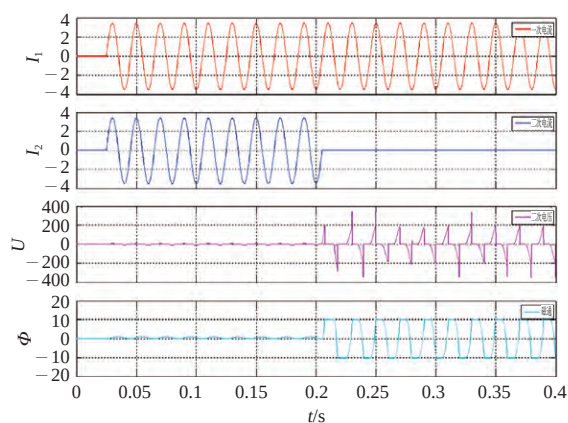


图5 二次开路时电流、电压和磁通波形

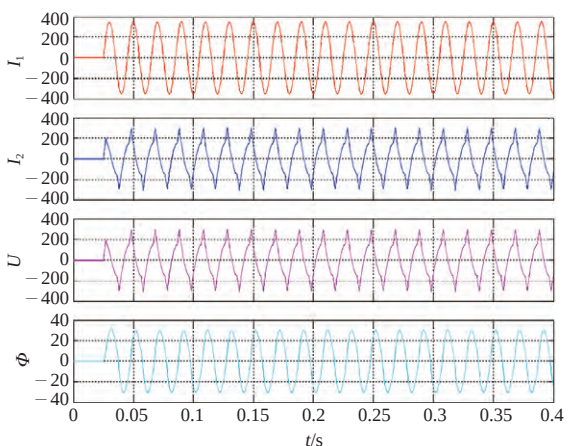


图6 一次电流很大时电流、电压和磁通波形

TA的误差主要由励磁电流 I_0 引起的，正常运行时励磁阻抗较大， I_0 很小，以至于这种误差可以忽略。但当TA饱和时，饱和程度越严重，励磁阻抗越小，励磁电流很大，使TA的误差成倍增大，影响保护正确动作。引起TA饱和的原因一般为电流过大或电流中含有大量的非周期分量，而这两种情况恰恰发生在事故情况下，这时要求保护装置正确动作快速切除故障，若TA饱和会造成保护装置拒动，进一步影响系统的安全稳定。

故障分析及应对措施

此次事故由于发生短路后保护装置没有采集到相关的故障信息而拒动，进而引起1[#]主变压器低压侧后备保护越级跳闸。如上表所示，1[#]主变压器低压侧后备过电流 I 段动作采集到的一次短路电流为11 568 A左右。各相关间隔录波波形如图7~图10所示。

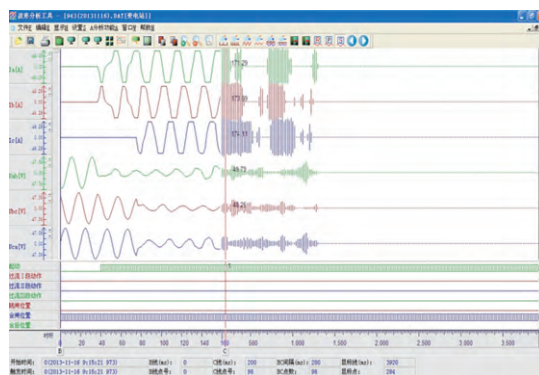


图7 融安线943录波波形

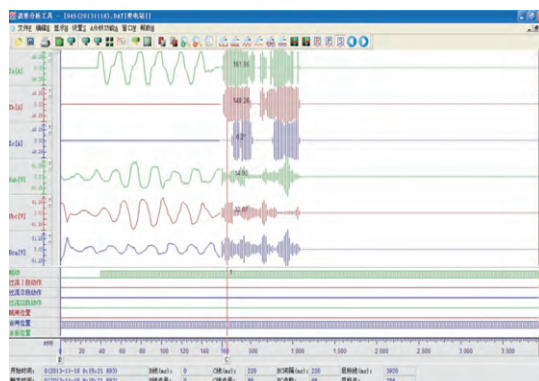


图8 铁路线945录波波形

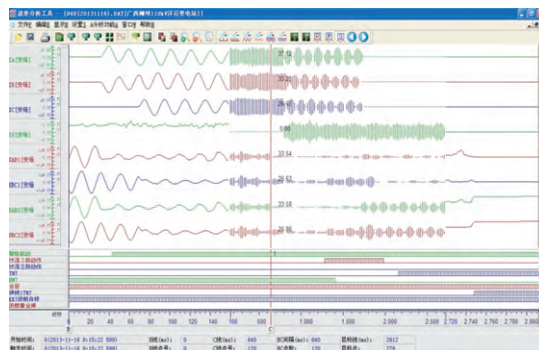


图9 分段开关940录波波形

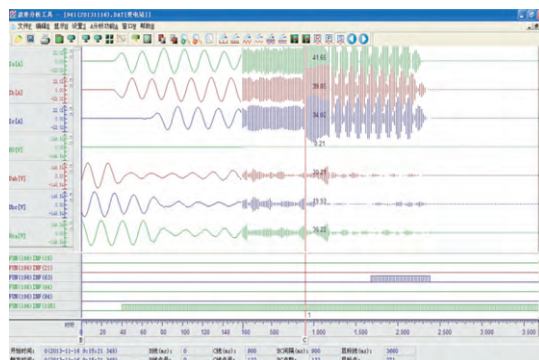


图10 主变压器低压侧开关941录波波形

1. TA的抗饱和能力

对10 kV融安线943、铁路线945线路保护TA进行伏安特性校验看出,当二次电流大于6 A以上时开始进入饱和区。保护TA的准确等级为10P20,电流比为300/5(见表1),即在20倍额定电流内的电流比误差不超过10%,则该TA额定准确极限电流值为6 000 A。 $1^{\#}$ 主变压器低压侧后备复压过电流I段动作采集到的一次短路电流为11 568 A左右,使融安线943、铁路线945的保护TA始终处于饱和状态。如图6和图7所示,二次电流几乎为零,致使保护未采集到故障量,导致开关未跳闸。

2. 保护装置采样准确度

一般保护装置采样频率较低,利用一定长度数据窗内的若干个采样值计算电流大小,如果二次电流发生畸变,波形变成窄的尖脉冲,则在一个数据窗内可能仅采到很少几个点的故障数据,其他各点采样值接近于零,这样计算出来的故障电流偏小,如图7和图8所示。

3. 应对措施

从仿真以及理论分析可知,可以从以下几个方面防止TA饱和。

1) 限制短路电流。在高一级电压等级中采取分列运行方式以限制短路电流。分列运行后造成的供电可靠性降低可以通过备用电源自动投入等方式来补救。或者采用在系统中安装串联电抗器来限制短路电流。

2) 增大保护级TA电流比。增大电流比可以提高TA在严重短路时的抗饱和能力。在此次事件处理中,我局重新更换了TA,将保护级的电流比增大到600/5。

3) 减小TA二次负载。选用功耗较小的保护装置,一般微机型保护装置消耗的功率很小,TA的负

载主要是二次电缆的阻抗,减小二次电缆长度或者增加电缆的截面积都能减小TA的负担,避免饱和。

结束语

电力系统的互联和运行方式改变的目的是为了增加供电可靠性,但是随之而来的是短路容量的增大。因此,有必要重新计算系统短路容量,分析TA的抗饱和能力,为保护级TA的合理选择提供依据;同时可以根据系统的特点,通过改变运行方式或者增加相应的一次设备来限制短路电流的大小,保证保护装置动作的正确性和选择性,确保电网安全、稳定运行。

参考文献

- [1] 吴天明,谢小竹,彭彬. Matlab电力系统设计与分析[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [2] 程利军,龙翔,杨奇逊. 基于采样值的CT饱和和检测方案的研究[J]. 继电器,2000(8): 19-21.
- [3] 郑小敏,刘会金,刘霞忠,等. CT饱和引起变压器差动保护误动的分析与对策[J]. 继电器,2005,33(8): 61-63.
- [4] Kang Y C, Ok S H, Kang S H. A CT saturation detection algorithm[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2004, 19(1): 78-85.
- [5] 易本顺. 光电式互感器的研究和发展及其在电力系统中的应用[J]. 武汉大学学报,2002(1): 57-62.
- [6] Jesus Rico J, Manuel Madrigal. The Study of Inrush Current Phenomenon Using Operational Matrices[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2001, 16(2): 231-237.

(收稿日期:2014-06-24) EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告