

文章编号: 1006-4729(2006)04-0319-04

电流互感器饱和检测的一种新算法^{*}

罗萍萍¹, 金 菲², 洪 晔³

(1 上海电力学院 电力与自动化工程学院, 上海 200090 2 浙江瑞安供电局,
浙江 温州 325200 3 上海市电力公司 嘉定供电分公司, 上海 333330)

摘 要: 目前, 电流互感器在应用上最大的问题是电流互感器饱和后其二次侧电流波形的失真, 使流入继电保护装置中的电流不能真实反映一次系统的电流实际值, 从而造成保护拒动或误动情况的发生. 在分析不同因素引起的电流互感器饱和和波形特征的基础上提出了电流互感器饱和检测的新思路.

关键词: 电流互感器饱和; 饱和类型; 饱和检测算法

中图分类号: TM 452 文献标识码: A

A New Detection Method of Current Transformer's Saturation

LUO Ping-ping¹, JIN Fei², HONG Ye³

(1 School of Electric Power & Automation Engineering Shanghai University of Electric Power
Shanghai 200090 China 2 Zhejiang Rui'an Distribution Bureau Wenzhou 325200 China
3 Jiading Power Supply Branch Shanghai Municipal Electric Power Co., Shanghai 333330 China)

Abstract At present the most serious problem in the application of Current Transformer is the phenomenon of its core's saturation. A Current Transformer cannot transfer the waveform of its primary system correctly during its saturation. As a result it will influence the reliability of system's protective relaying. Based on the phenomenon of Current Transformer saturation and its great influence on protective relaying this paper describes the different types of Current Transformers saturation and the characteristics of the waveform supplied by the saturated Current Transformer. The paper introduces a new method of Current Transformer saturation detection algorithm.

Key words current transformer saturation; saturation type; saturation detection algorithm

电流互感器是将高压电网大电流变化为小电流的电气设备, 因此, 电流互感器能否正确传变一次电流, 对继电保护的正常工作有较大的影响. 多年来, 学术界、工程界已经针对电流互感器饱和的检测方法做了大量研究工作. 常用的电流互感器饱和的检测方法有以下 4 种:

(1) 基于采样值的 CT 饱和检测方案^[1] 该方法是利用线性区的有效判据作为电流互感器饱和和检测的基础, 提出了同步识别法和电流比相法

对电流互感器饱和进行有效的判别;

(2) 基于导数法的电流互感器饱和的判据^[2]

该判据利用被保护区域两侧电流突变量及二阶倒数波形的图形和数量特征提出判据;

(3) 计算谐波比确定母线保护中电流互感器的饱和^[3] 该方法是运用电流互感器饱和时二次电流出现缺损和畸变, 判别高次谐波在二次电流中所占的比例, 确定电流互感器的饱和;

(4) 改进时差法鉴别电流互感器饱和^[4] 该

方法是利用区外严重故障差动保护动作时间和启动时间之间存在的时差, 提出鉴别电流互感器饱和的判据.

本文在分析电流互感器饱和现象的基础上, 提出了一种新的电流互感器的检测算法.

1 电流互感器饱和和特征分析

在实际应用中, 电流互感器最大的问题是电流互感器在饱和后其二次侧电流波形及幅值的失真. 以下分别从电流互感器的交流饱和、电流互感器的直流饱和, 以及剩磁等 3 部分予以分析.

1.1 电流互感器的交流饱和

电流互感器的饱和是由于其所用铁芯的特性所引起的. 若电流互感器剩磁为零, 则加入纯正弦波形后其磁通如图 1a 中的曲线所示.

事实上, 一般电流互感器的励磁曲线是由图 1a 的形式予以简化的, 即将 BH 环压缩成一曲线, 并忽略第三象限部分. 在实际应用中, 当二次侧负载一定时, 如增加电流互感器的一次电流 I_1 , 相应的励磁电流增大, 铁芯中的磁通增多, 铁芯中的磁通密度可能达到饱和, 即为电流互感器的交流饱和^[3].

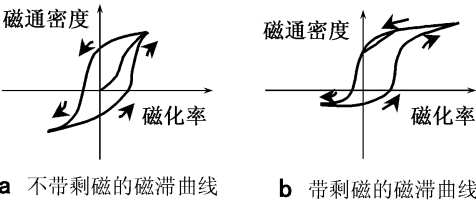


图 1 典型的磁滞曲线

此外, 如电流互感器二次侧的负载阻抗过高, 有时在并不太高的一次电流情况下, 电流互感器也可能会发生交流饱和. 当然, 采用特性较优的电流互感器, 选用适当的电流互感器变比值, 尽量减低电流互感器二次侧的负载阻抗 Z_T 值等, 对改善电流互感器的交流饱和有一定的帮助, 但并不能彻底解决电流互感器的饱和问题.

1.2 电流互感器的直流饱和

上述讨论的均为电流互感器的交流饱和. 由于电力系统中的阻抗常数多为电感性质, 因此故障后的电流中存在直流偏移成分, 形成直流磁通, 交流电流产生的交流磁通在上面叠加, 在直流偏

移成分存在的半周期容易使磁通饱和. 当故障发生后且经过一段时间, 电流互感器达到其饱和密度后才开始出现直流饱和现象^[3].

1.3 电流互感器的剩磁现象

由于任何有铁芯的设备即使在励磁电流已降为零值时, 也会留有相当程度的剩磁. 因此剩磁对电流互感器特性同样有影响, 其影响程度是随电流互感器二次侧的电流及负载阻抗而定, 而剩磁对瞬态磁通的效应是助磁还是减磁, 则由剩磁与磁通变量的方向是否一致来决定^[5].

图 2 显示了剩磁对电流互感器特性的影响. 设电流互感器有剩磁如图 2 中的 a 点所示, 当一次侧为对称正弦波电流时, 假如此电流所需对应的磁通量为 aA 点间的垂直距离, 则其磁通的变化如图 2 中的 aA 磁滞环所示, 此时其励磁电流的平均值应为 I_a . 此电流仅在二次侧流通, 不会有对应成分在一次侧, 它按二次侧回路的时间常数衰减. 当一次电流瞬态过程衰减后, 磁滞环将移至 cC 位置, 但磁通变幅不变. 假如现在将电流切断, 则剩磁值取决于电流被切断的瞬间, 它与原先的初始值完全不同, 铁芯中的剩磁范围可能在零与饱和密度之间, 且剩磁越高, 电流互感器的饱和越严重.

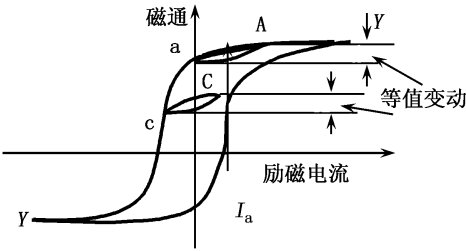


图 2 剩磁对电流互感器特性的影响

2 影响电流互感器饱和特性的因素

影响电流互感器饱和的因素主要有以下几点:

- (1) 一次侧暂态短路电流中非周期分量的大小, 这与短路电流水平和短路时刻有关;
- (2) 一次侧系统的时间常数;
- (3) 二次侧负荷的大小及性质;
- (4) 电流互感器铁芯中的剩磁.

在正常运行情况下, 电流互感器铁芯工作在较低的磁通密度下, 发生短路后剩磁对电流互感

器饱和影响不大. 但当短路切除后, 铁芯中的磁通将沿着磁滞回线下降至剩磁值. 如果剩磁的极性与故障时短路电流产生的极性相同, 则铁芯将更快地趋于饱和.

3 差分算法的原理及其 ATP 验证

3.1 三次差分算法原理

当电流互感器饱和时, 其二次侧电流波形将发生畸变和缺损, 且波形在进饱和与出饱和时会产生突变. 因此, 电流互感器的二次侧波形的一阶差分值会在饱和点的下一时刻处出现不连续, 并且在数值上将变大. 以此类推, 在饱和点的下一时刻处的二阶和三阶差分会有足够大的值来鉴别该时刻处的电流互感器饱和情况^[6].

3.2 三次差分算法 ATP 验证

本文利用 ATP-EMTP 电磁暂态程序进行仿真计算. 按照电流互感器等效简化电路建立模型, 其中的励磁电感是采用 96 型非线性电感, 并且用 11 段拟合其励磁特性, 不考虑剩磁效应. 图 3 为电流互感器深度饱和时二次电流波形及其三次差分图.

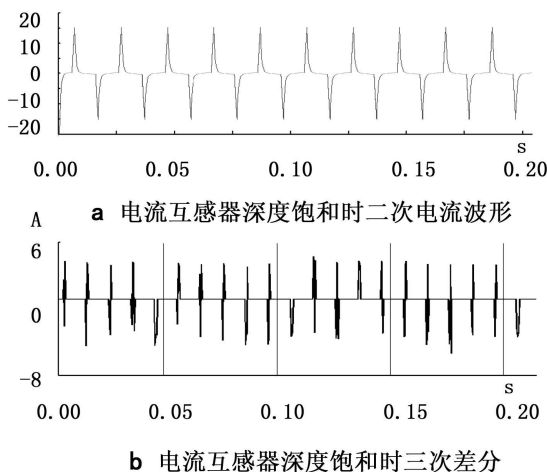


图 3 电流互感器深度饱和时二次电流波形及其三次差分比较 ($\Delta t = 10^{-6}$ s, $T_{\text{MAX}} = 0.2$ s)

由图 3 可以看出: 电流互感器饱和程度越深, 三次差分波形在进出饱和点处与其他点处的值相差越明显 (深度饱和时其他点处三次差分几乎为零), 此时三次差分的判据算法就越灵敏, 对饱和的检测也越灵敏.

4 改进检测算法思路

4.1 算法思路

从上述三次差分算法仿真波形可以看出, 电流互感器饱和时, 二次波形在过零点处前后有一区间内斜率变缓, 呈一台阶状. 这个区间内的电流波形斜率较其他部分有很大差别, 较其余部分有很明显的减小. 因此, 在并不要求锁定进出饱和点的情况下, 也可以通过二次电流波形斜率来检测电流互感器的饱和. 一旦检测到电流过零点前后有斜率明显减小的区间时, 即可判定互感器发生了饱和.

4.2 算法判据

基于以上思路, 本文提出以下简单判据:

$$n < m$$

$$\text{deli}[n-1] > T_h \quad (1)$$

$$\text{deli}[n] \leq T_h \quad (2)$$

$$\text{deli}[m] \leq T_h \quad (3)$$

$$\text{deli}[m+1] > T_h \quad (4)$$

$$i[n] \cdot i[m] < 0 \quad (5)$$

式 (1) 至式 (4) 是对斜率较小的非正常区间的检测, 其中 T_h 是针对非正常小斜率区间设定的阈值. 一旦检测到该区间的存在, 则互感器就有发生饱和的可能性. 式 (5) 则把这个区间限定为一个过零点的区间. 一旦上述判据中各式都成立, 则可判定互感器发生了饱和.

4.3 算法验证

同三次差分算法一样, 图 4 分别显示了电流互感器在不饱和、浅度饱和与深度饱和时的一阶导数图, 即斜率-时间图. 由图 4 可以看出, 饱和两图中每周期都有一段斜率很小, 几乎接近于零, 而不饱和的图中则没有. 这表明了该算法能够体现互感器饱和和二次电流与非饱和时的差别, 能够正确检测饱和的发生.

4.4 算法评价

(1) 同上述三次差分相比, 该方法在运算量上可进一步减少 (只需进行一阶求导), 这更有利于对饱和的快速检测.

(2)在对于三次差分算法的 ATP 仿真计算中可以发现,对于电流互感器的浅度饱和,三次差分算法的灵敏度会有所降低,即在互感器饱和程度很低的情况下,二次电流波形在进出饱和点时的三次差分值与其余点处的相差不明显,或达不到所设定的门槛值。

只要电流互感器饱和,便会在过零点前后出现斜率非正常小区间的规律。只要检测到该区间的存在,即可检测出饱和的发生,不受饱和程度的影响,从而避免了上述情况的发生。

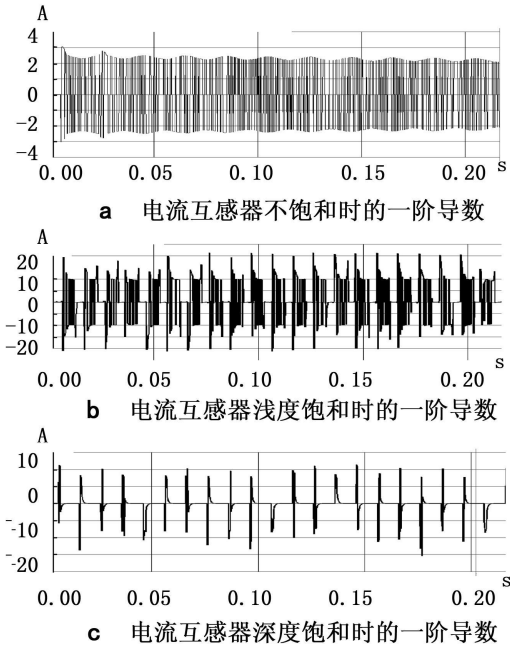


图 4 不同饱和度时电流互感器二次侧波形一阶导数 ($\Delta t=10^{-6}$ s $T_{MAX}=0.2$ s)

(3)该算法未考虑剩磁的影响。
(4)在继电保护中的重要部件(如母线等)的保护中,可以将三次差分算法和该斜率算法综合使用,以提高保护的可靠性能。

5 结束语

电流互感器饱和问题一直影响着继电保护的可靠性,尤其在差动保护中,该问题比较突出,并且直接影响母线等电气设备运行安全和电网供电质量。因此,本文从电流互感器饱和的特性、影响电流互感器饱和的因素、饱和时波形的特征等方面入手,对目前常用的基于饱和波形特征的电流互感器饱和检测方法进行了分析,并在此基础上提出了一种检测电流互感器饱和的新判据。

虽然目前针对电流互感器饱和问题已有不少新的解决方案,例如使用线性耦合器母线差动保护、使用多抑制元件可变比率差动保护、使用高阻抗继电器母线差动保护,但相关研究文献也同时指出,这些新技术并不能达到 100% 的无限线性传变效果,况且就目前而言,完全依赖新技术的时机还不成熟,通过电磁型电流互感器取得保护用电量仍然是现今继电保护的主流。因此,对于电流互感器磁饱和问题,尤其对饱和和检测方面的研究,是十分必要的。

参考文献:

[1] 程利军, 尤 翔. 基于采样值的 CT 饱和和检测方案的研究 [J]. 继电器, 2000 28(8): 19-21.
[2] 张庆伟, 谭建成. 基于导数法的电流互感器饱和新判据 [J]. 继电器, 2005 33(3): 21-24.
[3] 李 丽, 都洪基. 计算谐波比确定母线保护中电流互感器的饱和 [J]. 电力自动化设备, 2003 23(7): 69-72.
[4] 李 岩, 陈德树. 鉴别 TA 饱和的改进时差法研究 [J]. 继电器, 2001 29(11): 1-4.
[5] 李宏仁. 实用继电保护 [M]. 北京: 中国水电出版社, 2004 75-78.
[6] 张新刚, 王则忠, 徐春丽, 等. 差分法判别电流互感器饱和的改进措施 [J]. 华北电力大学学报, 2005 32(5): 1-6.