

基于虚拟制动电流采样点差动的 CT饱和识别方法

杨恢宏¹, 谢百煌², 毕大强³, 张项安¹, 王维俭³

(1. 许继电气保护及自动化事业部, 河南 许昌 461000; 2 陕西省电力公司调度中心, 陕西 西安 710004;

3. 清华大学电力系统及发电设备控制和仿真国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 分析了 CT饱和产生的机理以及 CT饱和后二次电流的本质特征, 根据一次电流过零点附近 CT二次电流存在线性传递区的特点, 提出基于虚拟制动电流采样点差动的识别 CT饱和方法。理论分析与动模试验结果表明, 该方法能够很好地解决变压器区外故障时由于电流互感器饱和造成变压器比率差动保护误动的问题, 进一步提高了差动保护的可靠性, 具有实际应用的价值。

关键词: 差动保护; 虚拟制动; CT饱和

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)13-0050-04

0 引言

一次系统用于变压器保护的电流互感器 (CT) 一般配置两组, 一组为暂态特性好的电流互感器 (TPY), 完成变压器的主保护功能, 一组为暂态特性相对差的电流互感器 (P级), 完成变压器的后备保护。现在对于 220 kV 及其以上电压等级的变压器都采用双重化的配置, 这样原来暂态特性较差的 P 级电流互感器也要完成变压器的主保护和后备保护功能。由于 P 级电流互感器铁心没有气隙, 剩磁较大, 容易饱和。采用双重化配置后, P 级电流互感器饱和已经是区外故障引起变压器差动保护误动的主要原因, 为了进一步提高差动保护的可靠性, 必须要解决 P 级电流互感器饱和问题。

围绕电流互感器饱和的问题, 已有提出多种鉴别方法。目前主要应用的是基于故障后电流互感器须经过一定时间才开始饱和的特点^[1], 提出的时差法 (快速测量)^[2,3]和附加制动法^[4,5]。前者根据当发生区外短路故障时 CT不会立即饱和, 外部短路后的暂态不平衡电流不会立即出现。而当变压器发生区内故障时, 一开始差动电流很大。因此, 利用差动电流出现时刻和故障发生时刻的不同, 来区分是区内故障还是区外故障。后者是利用区内与区外故障差流与制动电流组成的坐标点的运动轨迹不同, 当轨迹进入附加制动区后闭锁差动保护。这两种方法都存在区外故障电流互感器饱和后, 差动保护被闭锁, 必须经过一定的延时才重新开放差动保护, 因而当发生区外转区内故障时, 保护将延时动作。文献 [6] 基于对差动电流采样值波形的分析, 通过面积比较法的闭锁功能和相位比较法的开放功能, 在

发生区外转区内故障时适时解除闭锁信号, 开放保护。基于小波变换的算法 CT饱和和检测判据^[7]由于受采样频率和计算时间的限制, 在工程中较难实现。

本文通过对差动电流采样波形的分析, 构造自适应虚拟制动电流, 利用采样点差动识别 CT饱和, 与时差法区分区内与区外故障配合使用, 在区外故障且 CT发生饱和的情况下能够可靠闭锁保护, 当发生区外转区内故障时能够快速开放保护。

1 CT饱和产生的原理及其特征

1.1 CT饱和的原理

CT的等效电路图如图 1 所示, 图中 Z_1 为 CT的一次阻抗, Z_2 为 CT的二次阻抗, Z 为 CT的二次负载, Z_m 为 CT的励磁阻抗。

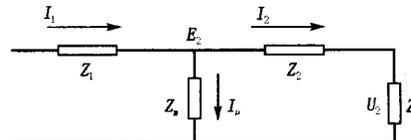


图 1 CT的等效电路图

Fig 1 Equivalent circuit of CT

由图 1 可得:

$$E_2 = I_0 Z_m \quad (1)$$

$$E_2 = I_2 (Z_2 + Z) \quad (2)$$

$$I_1 = I_0 + I_2 \quad (3)$$

由式 (1)、(2)、(3) 可得

$$I_2 = \frac{I_1 Z_m}{Z_m + Z_2 + Z} \quad (4)$$

$$I_0 = \frac{I_1 (Z_2 + Z)}{Z_m + Z_2 + Z} \quad (5)$$

CT铁心由铁磁材料做成, 铁心中磁通与磁感应

强度呈非线性关系。当铁心不饱和时, z_m 的数值很大且基本不变, 因此励磁电流很小; 当电流互感器的一次电流增大后, 尤其是一次电流含有较大的直流分量, 铁心开始饱和, 则 z_m 迅速下降, 励磁电流增加。当流入 CT 的一次电流大到一定程度时, CT 进入饱和状态, 感应到 CT 二次侧的电流变小, 而 CT 的励磁电流增大。由式 (4) 可知 i_2 随着 z_m 的减少而减少, 这实际是由 z_m 减少时励磁回路分流作用加大引起。当 CT 严重饱和时, z_m 急剧减少至接近零, 一次电流全部变成励磁电流, 二次电流几乎接近于零。

1.2 CT饱和和二次电流的特征

CT饱和与非饱和时其二次电流波形的对比如图 2 所示, 其中实线为 CT饱和的二次电流, 虚线为 CT不饱和时的二次电流。CT饱和分为暂态饱和和稳态饱和, 稳态饱和的电流波形以时间轴对称, 暂态饱和的波形与时间轴不对称。大部分 CT饱和都是由暂态饱和过渡到稳态饱和, 或者由暂态饱和直接退出饱和状态。由于 CT的铁心由铁磁材料做成, 铁磁材料的磁通不能够突变, 在故障开始时刻 CT不饱和, 可以线性传递一次电流, 其线性传递区的大小与 CT的饱和深度有关。CT饱和后在一次电流达到反方向的最大值时 CT退出饱和, 所以反方向一次电流过零点附近 CT存在线性传递区, 其线性传递区的大小取决与 CT的饱和深度。

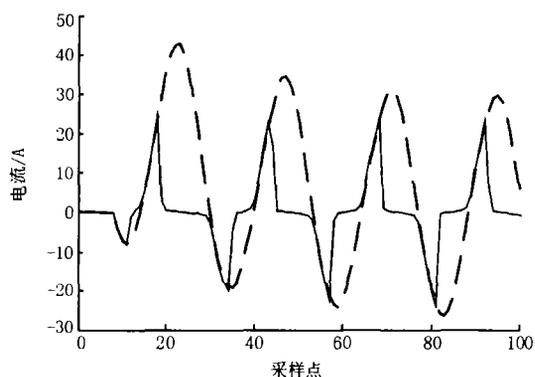


图 2 CT饱和的二次电流

Fig 2 Comparison of secondary current between saturation and non-saturation CT

CT饱和后二次电流的主要特征为:

(1) 在故障开始时刻, CT存在一个线性传递区, 能够正确传递一次电流, 其线性传递区的大小与 CT饱和程度有关。

(2) 在一次电流从反方向过零点时, CT存在一个线性传递区, 能够正确传递一次电流, 其线性传递

区的大小与 CT饱和程度有关。

目前也有采用三次谐波来识别 CT饱和, 是根据 CT饱和后波形的频谱分析提出的, 不是根据 CT饱和本身的特征提出的, 该判据主要缺点如下:

(1) CT暂态饱和主要含有大量的二次谐波, 而且大部分的 CT饱和都是由暂态饱和过渡到 CT稳态饱和。

(2) CT稳态饱和时二次电流波形与时间轴对称, 含有大量的奇次高次谐波, 其中诸高次谐波的含量与 CT饱和的程度有关, 如果 CT饱和后, 其线性传递区超过 3.5 ms, 则二次电流波形中三次谐波含量较大, 随着 CT饱和的程度加深, 其中诸高次谐波的含量发生变化, 三次谐波不再是主要的特征, 往往 5次或 7次谐波变成了 CT饱和的二次电流的主要特征。

从上面的分析可知: CT饱和后在一次电流过零点的附近存在一段线性传递区是 CT饱和后二次电流的主要特征, 基于奇次谐波识别 CT饱和的方法是对 CT饱和后二次电流波形做频谱分析后提出的, 只是 CT饱和后二次电流频谱的表现特征, 诸奇次的含量与 CT饱和的程度有关。

2 虚拟制动电流的采样点差动识别 CT饱和

利用差动电流自身的信息, 虚拟一个制动电流, 然后统计一个周波内大于该制动电流的点数 N , 如果 $N > M$ (M 为设定的定值), 则开放差动保护, 否则闭锁差动保护, 实现虚拟制动电流识别 CT饱和需要四个步骤。

(1) 设置虚拟制动电流

对于正弦波来说, 虚拟制动电流的取值为:

$$I_{kr} = 0.8 I_{\max} \sin(2\pi/N)$$

式中: 0.8 为可靠系数, N 为一个周波的采样点数, I_{\max} 为正弦波的峰值。

(2) 统计一个周波内大于该制动电流的点数

如果 $|i_k| > I_{kr}$, $M_k = 1$; 如果 $|i_k| < I_{kr}$, $M_k = 0$ 。

一个周波内以虚拟制动电流作为制动量的采样

点差动满足的点数为 $N_{\text{sum}} = \sum_{k=1}^N M_k$

(3) 比较 N_{sum} 与 M 值

如果 $N_{\text{sum}} > M$, 开放差动保护; 如果 $N_{\text{sum}} < M$, 闭锁差动保护。

(4) M 值的选取

如图 3 所示, 由于虚拟的制动电流选取为第一个采样点的 0.8 倍, 对于一个周波内采样数据, 只有

采样值为零时满足 $|i_k| < I_{kr}$, 考虑到采样时刻有偏差, 对于一周采样 24 点时, 最多只有 4 个点满足 $|i_k| < I_{kr}$ 。考虑到一定的裕度, 对一周采样 24 点时 M 取 18。

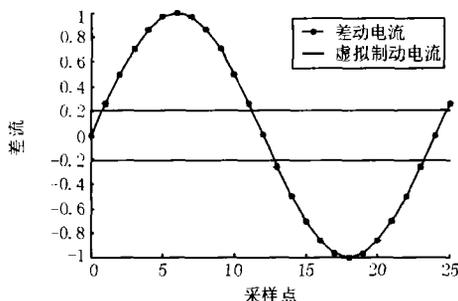


图 3 N_{sum} 整定取值示意图

Fig 3 Schematic diagram of setting N_{sum}

3 试验结果分析

为了检验上述 CT 饱和和检测方法的正确与有效, 在动模实验室进行了大量的试验验证, 变压器高压侧 A 相发生区外故障, 同时该侧电流互感器发生饱和。下面分析一个周波采样 24 点, M 值取 18 时上述方法的抗区外故障 CT 饱和能力。

图 4(a)、图 5(a)中给出了 A 相高压侧 CT 饱和的电流波形与低压侧 CT 没有饱和的电流波形; 图 4(b)、图 5(b)中给出了差动电流和虚拟制动电流的波形; 图 4(c)、图 5(c)中给出了利用本文算法计算的各周期内满足采样点差动的点数 N_{sum} 。

从图 4(a)可以看出, 故障后第一个周波的线性传递区为 3.33 ms, 从图 4(c)可以看出, 故障开始后各周波内满足 $|i_k| > I_{kr}$ 的点数不超过 14, 能够可靠地闭锁差动保护。

从图 5(a)可以看出, 故障后第一个周波的线性传递区为 1.67 ms, 从图 5(c)可以看出, 故障开始后各周波内满足 $|i_k| > I_{kr}$ 的点数不超过 16, 能够可靠地闭锁差动保护。

区外故障时随着 CT 饱和程度的加深, 一个周波内满足 $|i_k| > I_{kr}$ 的点数增加, 如果 CT 饱和的线性传递区为 1 ms 时, 一个周波内满足 $|i_k| > I_{kr}$ 的点达到了 18 点, 也就是说对于一个周波采样 24 点, 当 $M = 18$ 时, 抗区外故障 CT 饱和的能力为 1 ms。

如果发生区外转区内故障时, 对该判据来说相当于区内故障, 上述算法很容易满足 18 个点, 开放差动保护。

通过上面的分析可知, 该识别 CT 饱和和判据具有较强的抗区外故障 CT 饱和的能力, 即使故障电

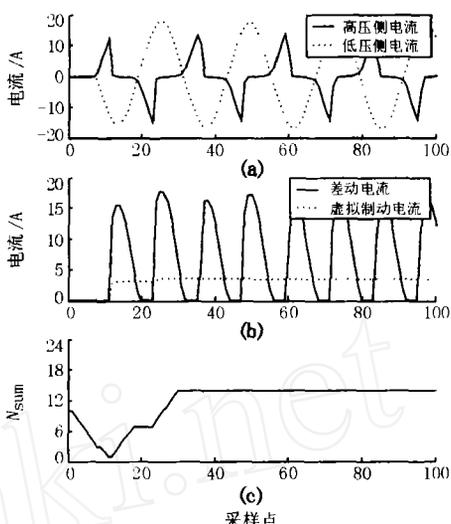


图 4 区外故障 CT 饱和 (线性区 3.33 ms)

Fig 4 CT saturation with 3.33 ms linear-zone caused by an external fault

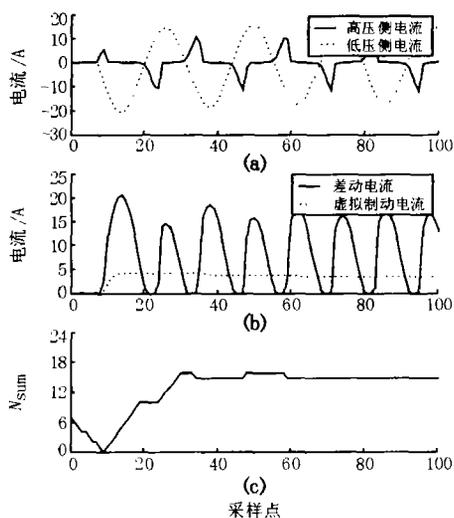


图 5 区外故障 CT 饱和 (线性区 1.67 ms)

Fig 5 CT saturation with 1.67 ms linear-zone caused by an external fault

流含有较大的直流分量时也不会影响该判据的使用。

4 结论

分析 CT 饱和产生的机理和 CT 饱和后二次电流的本质特征, 谐波分析识别 CT 饱和的方案是 CT 饱和后二次电流频谱分析的外在表现, 诸奇次谐波的含量与 CT 饱和的程度有关。基于对 CT 饱和和二次电流本质的认识, 提出虚拟制动电流抗区外故障 CT 饱和的方案, 并通过试验验证, 该方案具有很高的抗区外故障 CT 饱和的能力, 并且该方案已经在

工程中应用。

参考文献:

- [1] 袁季修, 盛和乐, 吴聚业. 保护用电流互感器应用指南 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
YUAN Ji-xiu, SHENG He-yue, WU Ju-ye. Guide of Current Transformer [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [2] 朱声石. 差动保护的暂态可靠性 [J]. 继电器, 2002, 30(8): 1-6
ZHU Sheng-shi. The Transient Reliability of Differential Protection [J]. Relay, 2002, 30(8): 1-6
- [3] 沈全荣, 严伟, 梁乾兵, 等. 异步法电流互感器饱和判别新原理及其应用 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29(16): 84-86
SHEN Quan-rong, YAN Wei, LIANG Qian-bing, et al. A Synchronous Method for the Recognition of Current Transformer Saturation and Its Application [J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(16): 84-86
- [4] SIEMENS A G 7UT51 Numerical Differential Protection Relay Instruction Manual [Z]. SIEMENS, 1995.
- [5] 杨彪. 国外 220 kV 差动保护的特点原理分析 [J]. 继电器, 2003, 31(7): 84-87.
YANG Biao. The Theoretical Analysis of the Characteris-

tic of a 220kV Overseas Differential Protection [J]. Relay, 2003, 31(7): 84-87.

- [6] 杨凌, 张艳霞. 一种防止变压器纵差保护区外故障误动的新方法 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29(11): 57-60.
YANG Ling, ZHANG Yan-xia. A New Method for Preventing External Fault Misfunction of Transformer Differential Protection [J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(11): 57-60
- [7] 曹豫宁, 李永丽, 张兴华, 等. 基于小波变化的电流互感器饱和实时检测新判据 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25(10): 27-30.
CAO Yu-ning, LI Yong-li, ZHANG Xing-hua, et al. A New On-line Criterion for Current Transformer Saturation Based on Wavelet Transform [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(10): 27-30.

收稿日期: 2005-12-08; 修回日期: 2006-03-08

作者简介:

杨恢宏 (1973 -), 男, 硕士, 主要从事继电保护的研究; E-mail: huihongy@xjgc.com
谢百煌 (1974-), 男, 工程师, 主要从事继电保护的研究;
毕大强 (1973 -), 男, 博士, 主要从事电气主设备继电保护研究。

Using the sampling differential protection based on the constructed restraint current to identify CT saturation

YANG Hui-hong¹, XIE Bai-huang², BIDA-qiang³, ZHANG Xiang-an¹, WANG Wei-jian³

(1. XJ Protection & Automation Business Department, Xuchang 461000, China;

2. Electric Power Dispatch and Communication Center, Xi'an 710004, China; 3. State Key Laboratory of Control and Simulation of Power Systems and Generation Equipment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This paper analyzes the mechanism which caused CT saturation and the essential character of the current secondary side at CT saturation. According to the linear zone of secondary current of CT near the primary current across zero, a method is proposed to identify CT saturation by using the sampling differential protection based on the constructed restraint current. The theoretical analysis and experiments verify that the method can prevent the differential protection from mal-operating while the CT enters into saturation caused by the external fault. The reliability of differential protection is improved, and the method has been applied in the practice.

Key words: differential protection; constructed restraint current; CT saturation

(上接第 32 页 continued from page 32)

Abstract: This paper briefly analyzes the limitation of some reactive power optimization methods for power system and through comparison draws the conclusion that genetic algorithm is an effective method for reactive power optimization. A more effective method—the improved genetic algorithm is put forward based on simple genetic algorithm. The new algorithm conquers the defects of convergence rate slow and easily being precocious of simple genetic algorithm, and links up the characters of reactive power optimization of power system, and profits from the simulated annealing in the execution process of genetic algorithm to amend the individual fitness constantly. It applies float point encoding, multi-population, self-adaptive variation rate and self-adaptive crossing rate as well. The calculation example indicates that this improved genetic algorithm has the optimal results with improved precision and convergence speed.

Key words: reactive power optimization; improved genetic algorithm; self-adaptive; float point encoding; multi-population