

基于导数法的电流互感器饱和和新判据

张庆伟, 谭建成

(广西大学电气工程学院, 广西 南宁 530004)

摘要: 电流差动保护中区外故障时电流互感器饱和而造成的电流传变误差, 是引起电流差动保护误动的一个重要因素。文中对电流互感器饱和的原因作了简要分析, 通过分析饱和电流波形, 区分出由不同原因引起的电流导数波形的差别, 并在其基础上提出了新的判别电流互感器饱和的方法——导数法。利用 RTDS进行了详细的仿真试验, 经过仿真试验证实, 此方法可以迅速准确地判断出电流互感器进饱和点与出饱和点, 从而防止因电流互感器饱和而引起的电流差动保护误动。

关键词: 电流互感器饱和; 导数法; RTDS仿真; 电流差动保护

中图分类号: TM733 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)03-0021-04

0 引言

随着微机型继电保护装置的逐渐普及, 电流差动保护由于其良好的选择性及可靠性逐渐被广泛采用在电力系统元件及线路保护中。而电流互感器能否准确及时地将一次侧电流传送到继电保护装置中直接决定了电流差动保护的正确动作与否。

在电流差动保护中, 在区外故障时如果发生一侧电流互感器饱和的情况, 则有可能引起保护误动作。因此须及时判断出电流互感器饱和的现象, 对保护闭锁一定时间, 以避免保护误动。在基于电流故障分量的电流差动保护算法中, 由于其保护的速动性, 对电流互感器进饱和点的检测要求更加的迅速、准确。

在电流差动保护中如何准确确定电流互感器饱和的发生点从而短时闭锁继电器是长期以来的此类保护的研究课题。主要的判别方法有: 时差法^[1], 小波分析法^[2,3]等, 这些方法大都比较较好地解决了电流互感器饱和的鉴别问题。但在时间的迅速性或准确性上还存在一些问题, 有些方法过于复杂不适用于实际应用。

本文在分析电流互感器饱和原因的基础上, 对饱和波形进行了仿真研究, 提出了新的饱和和检测判据, 并对新的判据进行了 RTDS仿真, 证实本方法准确可靠, 并且计算简单, 具有良好的应用价值。

1 电流互感器的数学模型

电力系统继电保护中常用带铁心的电流互感器。为了简化对问题的分析, 本文采用了简化的电流互感器等值电路, 忽略铁心的铁损, 基本等效电路

图如图 1:

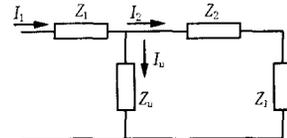


图 1 电流互感器二次回路等效电路图

Fig 1 Equivalent circuit of CT secondary side

上图中电流满足下式:

$$I_1 = I_2 + I_0 \quad (1)$$

式中 I_1 为经等效变换后电流互感器一次线圈电流值, I_2 为输入到继电器的二次电流, I_0 为互感器励磁支路的电流。

电流互感器是一个具有铁芯的非线性元件, 其励磁阻抗 Z_0 的变化取决于铁芯的饱和程度。在正常工作状况下, 二次负载是继电器的电流线圈, 负荷阻抗 Z_L 很小, 其 Z_0 的数值很大且数值基本不变。电流互感器工作在磁化曲线的直线部分, 铁芯处在不饱和状态。 I_1 与 I_2 成正比关系, 从而使一次电流能按互感器变比转换成二次电流。当 CT 通过较大的一次暂态电流 (特别对于区外故障) 时, 其中会含有大量衰减的非周期分量, 由于非周期分量绝大部分不能通过线圈传变到电流互感器的副边, 使得铁芯进入饱和区, 铁心的磁导率很快下降到一个很小的值, Z_0 会迅速减小, 而使 I_0 迅速增大, 二次电流将会出现较为严重的缺省, 电流波形发生畸变, 由此会造成很大的差动电流, 这样就容易引起继电器误动作^[4]。另外一种原因就是由于电流互感器后接继电器阻抗变化所引起的负荷阻抗 Z_L 变大, 而引起电流互感器饱和, 造成电流波形畸变。实际情况下引发电流互感器铁心饱和的因素有很多, 比如

一次电流幅值,一次系统时间常数,二次负载的大小,铁心剩磁等,大部分情况下为各种因素的共同作用引起电流互感器饱和。电流差动保护中对于区内故障来说,电流互感器饱和对于保护正确动作影响很小,可以忽略,最关键的问题在于判断出区外故障时的电流互感器饱和。

2 电流互感器饱和时的波形特点

对于电流差动保护来说,区内故障时电流互感器饱和是不会造成保护拒动的,主要关心的是在区外故障时能否及时检测出电流互感器饱和。本文利用 RTDS(Real Time Digital simulator)仿真得到由不同原因引起的暂态饱和波形和稳态饱和波形,如图 2~5。图中横轴均为时间轴,单位为 s 。故障始发时间均为横轴 $0.1 s$ 处。

通过观察在区外故障时,被保护区域两侧电流突变量及二阶导数波形图像可得,不同原因所引起的电流互感器饱和其两侧的电流二阶导数图像是不同的。电流互感器饱和的两种极端情况分别为暂态饱和与稳态饱和。

2.1 暂态饱和

虽然由非周期分量所引起的电流互感器暂态饱和和图 2 与电流互感器稳态饱和和图 4 在二次侧电流波形上大体一致,但在电流突变量(即一次电流的一阶导数)波形及二阶导数波形上有很大的区别。

在由非周期分量所引起一侧电流互感器饱和和发生后,此侧电流突变量仍保持与另一侧异号,并无明显数值上的突变,两侧的突变量电流变化几乎相同,两者同时变号,因而其二阶导数波形并无极大值出现。根据突变量电流差动保护原理可知,在两侧电流突变量保持异号并且数值大体一致的情况下是不会造成保护误动作的。如图 2 和图 3 所示。

由波形图上可以看出非周期分量所引起的电流互感器饱和对基于电流突变量的电流差动保护来说,其影响是很小的,不会造成保护误动作,因此可以忽略不计。经仿真测试也验证了这种主要由一次故障电流中的非周期分量所引起的电流互感器饱和,不会造成电流差动保护误动。

2.2 稳态饱和

在主要由稳态短路电流过大引起的电流互感器饱和和图像图 4 与图 5 中,通过观察可得:

1) 在外部故障发生后的前四分之一周期内,电流互感器是不会饱和的,利用这段线性区域,区内故障时保护可以及时动作。

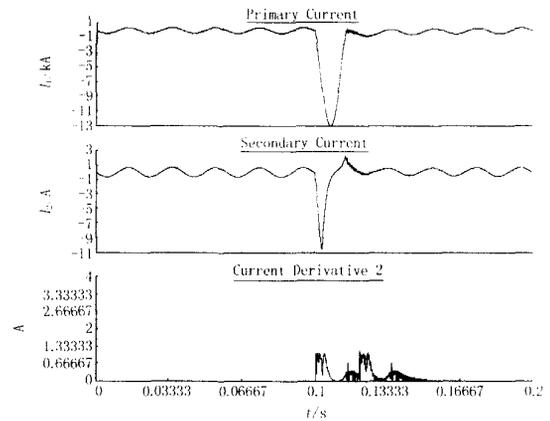


图 2 非周期分量引起电流互感器暂态饱和和图像——一次侧与二次侧电流及二阶导数

Fig 2 Primary and secondary current and second derivative of CT transient saturation caused by aperiodic component

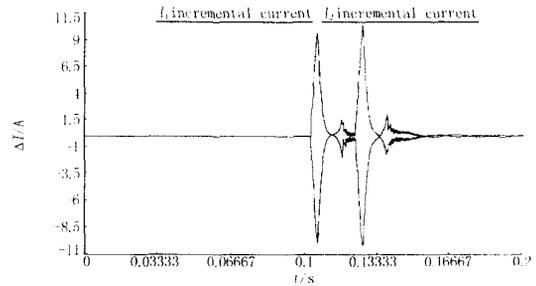


图 3 非周期分量引起电流互感器暂态饱和和图像——突变量电流

Fig 3 Incremental current of CT transient saturation caused by aperiodic component

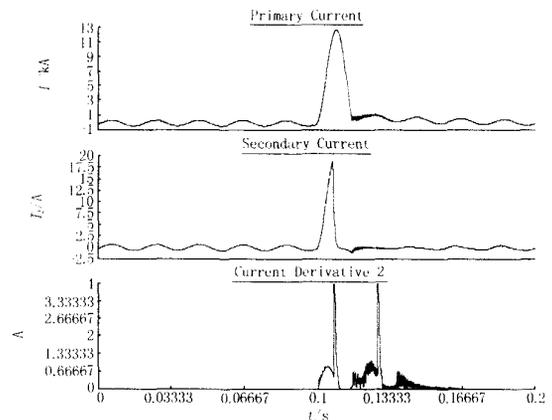


图 4 稳态饱和和波形图——一次侧与二次侧电流及二阶导数

Fig 4 Primary and secondary current and second derivative of CT steady state saturation

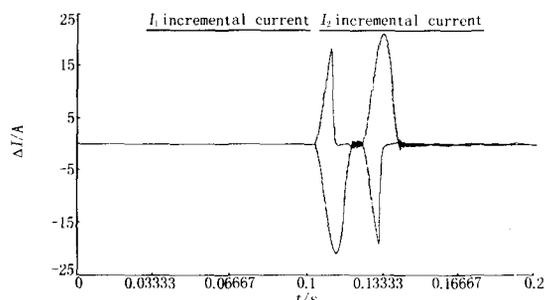


图5 稳态饱和波形图二—突变量电流

Fig 5 Incremental current of CT steady state saturation

2) 饱和发生时,饱和一侧的突变量电流会变化很大,二次导数突变为较大数值,因此我们可以利用此特性构造电流互感器饱和判据。在电流互感器退出饱和的时刻,也会在二阶导数波形上出现极大值,可利用此特性判断饱和退出点。

3 导数法判别电流互感器饱和

判断区外故障电流互感器饱和的判据如下:

$$|I(t) - I(t-t)| > K \quad (1)$$

$$I_1(t) \cdot I_2(t) < 0 \quad (2)$$

式中: $|I(t) - I(t-t)|$ 为二次侧电流的二阶导数; I_1 、 I_2 分别为被保护线路两侧的电流, $I_1(t)$ 、 $I_2(t)$ 分别为两侧突变量电流在 t 时刻的瞬时值; t 为采样间隔; K 为常数,可由灵敏度不同进行不同的设置,一般为额定电流的 1.5~3.5 倍。

对于本判据判断电流互感器饱和解释如下:

1) 本判据利用对电流突变量求一次导数,即对一次电流求二阶导数,判断其是否超过设定的门限值,来判断饱和的发生时刻,也是本判据名称的来源。

2) 判断条件 (1) 为主判据,满足此条件可判断出此时电流突变量产生了较大数值变化,来判断饱和和发生。

3) 判据 (2) 为辅助判据,利用判据 (2) 可以判断出此时两侧电流突变量反向,为区外故障。两个判断条件同时满足的情况下可以判断出此时为区外故障发生电流互感器饱和。如果仅利用第一个判断条件作为饱和判据,在区内金属性接地故障时有可能误闭锁。

4) 在出现第二次满足判据条件 (1) 时,可判断为出饱和点,但是在有些极端情况下出饱和点的判断不是十分准确,实际中判断出进饱和点可直接闭锁保护出口两个周波。

本判据不需要进行复杂的运算,仅需要对电流

突变量进行简单的加减运算即可判断出饱和与否,简单易行,因此具有良好的实用前景。

4 仿真分析

利用 RTDS 建立电流互感器饱和的仿真模型,其具体参数见附录。在 RTDS 的电流互感器元件中,采用准确的 Jiles/Atherton 算法来模拟现实电流互感器,能够在电力系统正常运行及故障稳态暂态时准确的仿真。

图 6 给出了发生电流互感器饱和时的电流互感器一次侧与二次侧电流的图像,二次电流二阶导数的图像,以及本方法及时检测出电流互感器进饱和出饱和的图像。

经 RTDS 仿真验证,数据如表 1,在饱和发生后一到两个毫秒内即可检测出饱和发生,并及时发出闭锁信号,防止保护误动。

表 1 在不同负荷阻抗及剩磁情况下
电流互感器饱和的监测情况

Tab 1 Detection results of CT saturation under different conditions

负荷阻抗 / ,H	剩磁 / (%)	进饱和和检测时间 / s
20, 10e-3	0	0.0007
20, 10e-3	10	0.0008
20, 10e-3	40	0.00065
20, 10e-3	80	0.00075
20, 10e-3	90	0.00075
10, 10e-3	0	0.00095
10, 10e-3	10	0.00110
10, 10e-3	40	0.00135
10, 10e-3	80	0.00150
10, 10e-3	90	0.00165

电流互感器饱和仿真结果 ($K=3$, 采样间隔 $t_s=0.00025$ s), 图中横轴为时间轴, 单位为 t_s 。

通过观察饱和图像图 6 及仿真数据表 1 可得:

1) 不同的负荷阻抗条件下,饱和检测速度有所差别。稳态饱和与暂态饱和共存的情况下,本方法可以在一毫秒内检测出这类饱和,及时地闭锁差动保护,避免其误动。这种电流互感器饱和也是现实电流互感器饱和主要形式。

2) 在较小负荷阻抗条件下,其饱和图像主要为暂态直流饱和。如前文所述,这种饱和对于基于变量的电流差动保护来说,并不能造成其误动作。本方法虽然检测这类电流互感器饱和相对较慢,但是由于这类饱和不至于导致保护误动作,因此其影响是可以忽略的。

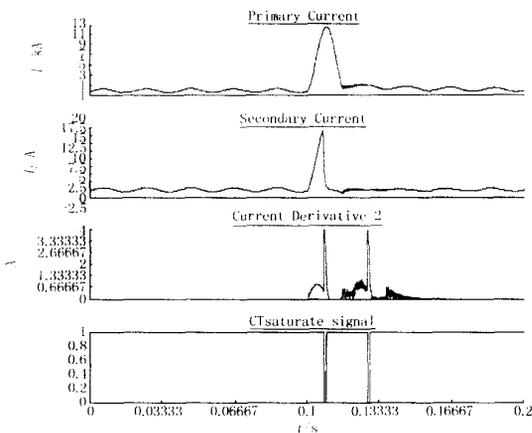


图 6 稳态饱和与非周期分量暂态饱和共存时一、二次电流及饱和信号

Fig 6 Primary and secondary current and detection signal when CT steady state and aperiodic transient saturation exist

利用 RTDS 中的批处理功能 (batch process) 可以批量测试不同条件下的饱和现象。

常数 K 值的选择对于本方法的灵敏度有直接的影响, 因此在实际运用中应选择恰当的数值, 以保证检测部分正确动作。

5 结论

本文提出了判断电流差动保护中电流互感器饱和的一种新方法——导数法。RTDS 仿真证明此方法能够简单迅速地判断出电流互感器饱和点, 防止电流差动保护在区外故障时因近故障侧电流互感器饱和而误动作。仿真试验证明此方法简单可靠, 能够及时判断出电流互感器饱和, 具有很强的实用价值。

附录

- 电流互感器变比: 600/1;
- 通路长度: 0.4987 m;
- 横截面面积: $1.91532 \times 10^{-3} \text{ m}^2$;
- 二次侧电阻: 0.253 Ω ;
- 二次侧电感: $0.8 \times 10^{-3} \text{ H}$;
- 负荷侧电阻: 20 或 10 Ω ;
- 负荷侧电感: $10 \times 10^{-3} \text{ H}$;
- 剩磁: 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%,

60%, 70%, 80%, 90%

电流互感器励磁支路: 采用 V_{ms} 相对 I_{ms} 进行分段拟和, 参数如下表

V_{ms}	85.0	90.0	105.0	120.0	130.0	140.0	145.0	150.0	169.0	175.0
I_{ms}	0.04	0.045	0.05	0.075	0.0875	0.1	0.15	0.2	6.0	10.0

参考文献:

- [1] 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, 28 (8): 19-21.
CHENG Li-jun, LONG Xiang, YANG Qi-xun. The Research of the Sampling Method for CT Saturation in Numeric Busbar Protection [J]. Relay, 2000, 28 (8): 19-21.
- [2] 曹豫宁, 李永丽, 张兴华, 等. 基于小波变换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.
- [3] 李贵存, 刘万顺, 李鹏, 等. 一种利用小波原理防止差动保护误动的新方法 [J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (2): 45-48.
LI Gui-cun, LU Wan-shun, LI Peng, et al. New Method for Avoiding Differential Protection to Maloperate Based on Wavelet Transform [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26 (2): 45-48.
- [4] 李岩, 陈德树, 张哲, 等. 鉴别 TA 饱和的改进时差法研究 [J]. 继电器, 2001, 29 (11): 1-8.
LI Yan, CHEN De-shu, ZHANG Zhe, et al. Research of the Improved Time Difference Method to Distinguish TA's Saturation [J]. Relay, 2001, 29 (11): 1-8.
- [5] Annakkage U D, McLaren P G, Dirks E, et al. A Current Transformer Model Based on the Jiles-Atherton Theory of Ferromagnetic Hysteresis [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2000, 15 (2): 515.

收稿日期: 2004-05-27; 修回日期: 2004-06-17

作者简介:

张庆伟 (1981 -) 男, 硕士研究生, 从事电力系统自动化及继电保护研究工作; E-mail: wulingchu@163.com

谭建成 (1963 -) 女, 博士生导师, 从事电力系统自动化及继电保护研究工作。

A new derivative method to detect CT saturation point

ZHANG Qing-wei, TAN Jian-cheng
(Guangxi University, Nanning 530004, China)

(下转第 33 页 continued on page 33)

- JIAO Jian-lin, LU Jing-jing Short-term Load Forecast Based on Time-series in Distribution System [J]. Transactions of Electrotechnical Society, 2002, 17 (5): 25-28
- [5] 孙宏斌,张伯明,相年德. 配电匹配潮流技术及其在配电状态估计中的应用 [J]. 电力系统自动化, 1998, 7 (22): 18-22
- SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, XIANG Nian-de Distribution Matching Power Flow Technology and Its Application to State Estimation for Distribution Systems [J]. Automation of Electric Power Systems, 1998, 7 (22): 18-22
- [6] 孙宏斌,张伯明,相年德. 配电潮流前推回推法的收敛性研究 [J]. 中国电机工程学报, 1999, 19 (7): 26-29
- SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, XIANG Nian-de Study on Convergence of Back/Forward Sweep Distribution Power Flow [J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19 (7): 26-29
- [7] 丁心海,罗毅芳,刘巍,等. 改进配电网线损计算方法的几点建议 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25: 27-60
- DING Xin-hai, LUO Yi-fang, LIU Wei, et al Proposals on Improving the Current Methods for Calculating Line Losses of Distribution Network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25: 27-60
- [8] 王琨,刘丽平. 10kV 线损理论计算方法的误差分析 [J]. 电力学报, 2002, 17 (4): 251-256
- WANG Kun, LIU Liping Error Analysis on 10 kV Line Loss with Theoretical Calculating Method [J]. Journal of Electric Power, 2002, 17 (4): 251-256

收稿日期: 2004-05-26; 修回日期: 2004-07-25

作者简介:

杨霖 (1979 -),男,硕士研究生,研究方向为电力系统分析与控制、配电网网络分析; Email: yanglin@bjxj-xjgc.com

王卫东 (1969 -),男,工程师,研究方向为电力系统自动化;

陈得治 (1974 -),男,博士研究生,研究方向为电力系统分析与控制、配电网网络分析;

郭志忠 (1961 -),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为电力系统分析与控制、计算机在电力系统中的应用、电力市场、光学电流互感器等。

A research on theoretical energy losses of medium-voltage distribution networks based on measurements

YANG Lin¹, WANG Weidong², CHEN De-zhi¹, GUO Zhi-zhong^{1,3}

(1. Dept of Electrical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. Guangdong Nenking Technology Development Co., Ltd, Foshan 528200, China;

3. Electric Power Research Institute of XJ Group Corporation, Beijing 100085, China)

Abstract: Energy losses evaluation is an important assignment for management and operation of distribution networks. Combined with engineering application of DAS and its situation in many distribution networks, a conception of incomplete automatic distribution networks is presented in the paper. According to the characteristic of measurement settings in networks and the thought based on measurements and oriented process, it puts forward a new method for calculating theoretical energy losses based on radiate distribution, which differentiates information of node including real-time, energy and capacity information, and uses them cooperatively to implement load information in the distribution networks with incomplete automatic measurements completely. As the result, the method can solve the difficulty in calculating energy losses in distribution networks due to high unmeasured loads. Example shows that the method is practical and efficient for distribution networks, and can satisfy the request of precision in the engineering application.

Key words: distribution network; energy losses; incomplete automatic; non-measured loads; DMPF

(上接第 24 页 continued from page 24)

Abstract: The current transmission error of CT saturation is one of the main factors of current differential protection maloperation. The principle of CT saturation is briefly introduced in this paper. On analyzing the saturation figures of CT secondary current, it gets the new CT saturation detection method—derivative method. In the end, RTDS is used to simulate the CT saturations and the simulation results prove that the new method can detect CT saturation quickly and exactly. It can prevent the maloperation of current differential protection in time.

Key words: CT saturation; derivative method; RTDS simulation; current differential protection