

重合于故障时 TA 饱和对差动保护的影响及对策

郝后堂, 史泽兵, 江卫良

(国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司, 江苏 南京 210003)

摘要: 结合现场数据对传统的 TA 饱和判别方法——时差法(从故障发生到 TA 饱和, TA 至少有 3~5 ms 的时间能正确传变一次电流)进行了理论分析, 发现当线路重合于故障时, 由于 TA 中强剩磁的极性与下次故障时短路电流产生的磁通极性相同, 造成 TA 立即饱和, 几乎没有时差, 一些快速差动保护可能会误动。针对该问题, 增设了一个快速差动整组复归时间 T 。在整组复归时间 T 内, 快速差动保护只动作一次。理论分析表明, 所提策略不会影响区内故障时差动保护快速性, 同时提高了线路重合于故障、TA 直接饱和时差动保护的可靠性。所提策略已成功应用于实际的保护装置中。

关键词: TA 饱和; 时差法; 差动保护; 重合闸; 继电保护

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.04.030

0 引言

差动保护原理简单、性能可靠, 是电气主设备的关键主保护之一。电流差动保护中的电流互感器(TA)饱和造成了对短路电流的变换误差, 从而影响了差动保护的动作可靠性。目前, 国内差动保护的抗饱和能力越来越强, 但快速识别 TA 饱和的理论基本为从故障发生到 TA 饱和, TA 至少有 3~5 ms 的时间能正确传变一次电流, 即时差法^[1-3]。线路故障后再重合于故障时, 由于 TA 强剩磁的极性与下次故障时短路电流产生的磁通极性相同, TA 在重合于故障时立即饱和, 几乎没有所谓的时差, 一些快速保护(如母差保护)可能会误动, 严重影响系统的安全。本文主要分析了该情况下 TA 饱和对母差保护的影响, 并提出相应的对策, 在不牺牲区内故障时差动保护快速性的基础上, 提高差动保护装置的可靠性, 以便提高系统安全运行水平。

1 TA 模型

了解 TA 在暂态过程中各电气量的动态变化规律是解决 TA 饱和问题的前提条件。图 1 为将一次电流和励磁电流折算到二次侧后的 TA 等值电路。其中 L_m 为励磁电感, R 、 L 为二次电阻和电感, 忽略了铁芯的铁损, 励磁支路认为是纯电感^[4-5]。

在正常情况下, TA 的铁芯工作在低磁密的条件下,

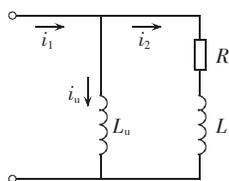


图 1 TA 等值电路

Fig.1 Equivalent circuit of CT

下, L_m 很大, 流入励磁回路的励磁电流很小, 二次电流能够真实传变一次电流。在一次系统故障时, 引起 TA 误差的重要原因是铁芯的非线性特性, 当铁芯中的磁密达到饱和时, 铁芯的磁导率很快下降到一个很小的值, 励磁电流急剧上升, 大部分一次电流变为励磁电流, 导致二次电流严重畸变。

图 2 为饱和波形示意图。 i_1 为一次电流, i_2 为二次电流, 两者之差可认为是励磁电流 i_m 。当电力系统短路故障被切除时, TA 的铁芯中将留有剩磁, 如果剩磁的极性与下一次故障短路电流所产生的磁通极性相同, TA 的铁芯将更快趋于饱和, 导致波形在故障初始时刻即产生严重畸变。

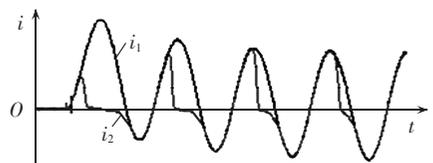


图 2 TA 饱和电流

Fig.2 Saturated current of CT

2 常规饱和和识别方法

不同对象的差动保护要求的技术指标是不同的, 一般要求母线差动保护在 10~15 ms 内判别故障, 其他差动保护(除差动速断外)一般要求为 25~30 ms^[6-9]。笔者定义要求 10~15 ms 的差动保护为快速差动保护, 要求 25~30 ms 的差动保护为慢速差动保护。慢速差动保护由于判据数据窗较长(至少为 1 个周期数据), 故针对慢速差动保护除了时差法外, 还有波形识别、谐波测量、磁制动等多种方法^[10-16], 本文不讨论这些方法的实现, 而主要以母差保护为例讨论时差法利弊。

母差保护装置一般配有快速差动保护和慢速差

动保护,快速差动保护解决区内故障的快速切除,慢速差动保护解决区外故障转区内故障的快速切除。快速差动保护使用的前提条件就是要在故障初期快速准确识别 TA 饱和。一般采用时差法判别 TA 饱和,不同厂家具体实现方法可能不同,其基本依据为短路发生后,TA 不会立即饱和,在短路发生的初始阶段至少有 3~5 ms 时间 TA 不会饱和。

$$\Delta I_r = \sum_{j=1}^m |\Delta I_j|, \Delta I_d = \left| \sum_{j=1}^m \Delta I_j \right| \quad (1)$$

其中, ΔI_r 为和电流突变采样值; ΔI_d 为差电流突变采样值; m 为差动间隔数。

在发生区外故障且 TA 饱和时,故障初期 TA 不会立即饱和,表现为 ΔI_d 滞后于 ΔI_r 几个采样点才会大于饱和检测门槛。一旦判定故障为区外饱和故障,则闭锁快速差动保护。

饱和检测门槛取值、滞后点数设计、装置采样率是影响装置抗 TA 饱和及其可靠性的关键因素,本文不再对这些因素进行详细分析。长期运行及各种严格的试验证明,采用时差法检测 TA 饱和是非常有效合理的。

3 线路重合带来的问题

线路发生故障不一定造成 TA 饱和,线路保护跳闸后 TA 剩磁很高,线路重合于故障时,由于剩磁极性和重合于故障时短路电流产生的磁通极性相同,TA 将快速饱和,甚至出现线性传变时间几乎为 0 的情况。图 3 为线路重合于故障时某现场录波图, I_{a1} 为进线 A 相电流, I_{a2} 为故障线路 A 相电流, I_{da} 为差动电流, I_{ra} 为制动电流。第 1 次线路故障时,TA 基本没有饱和,波形较好,但在线路重合于故障时,线路支路电流 (I_{a2}) 波形在故障初始时刻就出现严重畸变。出现上述电流异常的主要原因是在大电流情况下切除故障,造成 TA 有强剩磁。

根据图 3 中第 1 个周期波形,通过工具得到第 1 个周期内的差动电流与制动电流的突变量 ΔI_{da} 和 ΔI_{ra} 如图 4 所示(录波图为每周期 24 个采样点)。

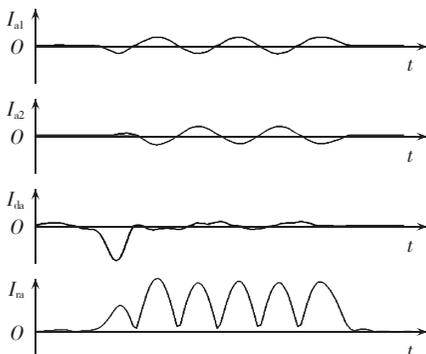


图 3 故障波形
Fig.3 Waveforms of fault

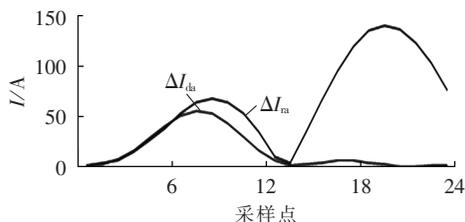


图 4 差动电流和制动电流突变量波形
Fig.4 Waveforms of ΔI_{da} and ΔI_{ra}

波形分析如下。

a. 在故障开始后的第 1 个点测得 ΔI_{da} 为 1.14 A、 ΔI_{ra} 为 1.15 A,在故障开始后的第 2 个点测得 ΔI_{da} 为 2.88 A、 ΔI_{ra} 为 2.76 A,可知 ΔI_{da} 和 ΔI_{ra} 没有时差,不会闭锁快速差动保护 (ΔI_r 和 ΔI_d 的饱和检测门槛为 $0.4 I_n$ (2 A); I_n 为 TA 二次额定电流,为 5 A)。

b. 定义 $k = I_{da} / I_{ra}$ 。在故障后首个半周期, k 大于比率定值 k_{set} (0.5) 的有 11 个点,满足快速差动保护动作条件,快速差动保护误动。

c. 由于故障后整周期数据窗的后半周期数据窗中的差动电流很小、制动电流很大,慢速差动保护不会动作出口。

通过上述分析可知,装置如果采用时差法判断饱和,无其他的配合措施,当发生此类故障时,系统的安全运行存在隐患。

4 对策

上文提到快速差动保护的数据窗较小,小于半个周期,在较短的数据窗内实现 TA 饱和检测,时差法最为有效,波形识别、谐波制动等方法在较短数据窗中很难实现。但在出现图 3 的故障波形时,时差法失效。

快速差动保护与时差法结合对于母差保护快速切除故障是行之有效的方法,不可能取消。在更好的 TA 饱和识别方法出现前,解决上述问题的最好方法就是在出现图 3 所示情况时不使用快速差动保护。但是差动保护一般采用根据差动电流和单元电流情况快速复归,故无法区分这种情况。

由于类似图 3 的波形一般出现在线路故障后重合于故障时,不会在第 1 次故障发生初始阶段就出现,因此,可设计一个快速差动整组复归时间 T ,在差动保护启动元件启动后时间 T 内只启用快速差动保护一次。逻辑流程如图 5 所示。图 5 中满足快速差动复归时间是指从差动保护第 1 次启动至故障发生的时间小于 T 。

快速差动整组复归时间 T 不能太长,否则在区内发生故障时故障不能快速切除;快速差动整组复归时间 T 不能太短,否则在重合于故障、TA 直接饱和时失效。快速差动整组复归时间 T 选取以躲过线路

重合的时间为宜。

若发生区内故障,差动保护启动元件启动后由快速差动保护直接跳闸切除故障;若瞬时性故障发生在区外线路,差动保护启动但快速差动逻辑与慢速差动逻辑均判为区外而不动作,故障切除由线路保护完成,线路重合无故障,差动保护启动元件启动,不经过快速差动逻辑判断,由慢速差动逻辑判断为无故障,差动保护返回;若永久性故障发生在区外线路,第1次启动与瞬时性故障情况一致,由线路保护切除故障,当线路重合于故障时,差动保护启动元件启动,不经过快速差动逻辑判断,经慢速差动逻辑判断且经严格饱和判据,判断为无故障,差动保护返回,故障仍由线路保护切除。综上所述,快速差动整组复归时间 T 不会影响区内故障时差动保护快速性,同时提高了重合于故障时,TA 因强剩磁直接饱和的情况下,差动保护的可靠性。该方法已在实际的保护装置中成功应用。

5 结论

电力系统短路故障被切除时,TA 的铁芯中将留有剩磁,如果剩磁的极性与下一次故障短路电流所产生的磁通极性相同,则 TA 的铁芯将更快趋于饱和,TA 线性传变时间很短甚至几乎为 0,传统 TA 饱和检测方法,即时差法可能失效。增设快速差动整组复归时间 T 提高了差动保护的可靠性,彻底消除了安全隐患。

参考文献:

- [1] 林湘宁,刘沛,高艳. 基于数学形态学的 TA 饱和和识别判据[J]. 中国电机工程学报,2005,25(5):44-48.
LIN Xiangning,LIU Pei,GAO Yan. A novel method to identify the saturation of the current transformer using mathematical morphology[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(5):44-48.
- [2] LIN Xiangning,ZOU Li,TIAN Qing,et al. A series multiresolution morphological gradient-based criterion to identify CT saturation[J]. IEEE Trans on Power Delivery,2006,21(3):1169-1175.
- [3] 谷君,郑涛,肖仕武,等. 基于时差法的 Y/△ 接线变压器和应涌流鉴别新方法[J]. 中国电机工程学报,2007,27(13):6-11.
GU Jun,ZHENG Tao,XIAO Shiwu,et al. A new algorithm based on time differential method to identify sympathetic inrush of transformers connected in wye-delta mode[J]. Proceedings of the CSEE,2007,27(13):6-11.
- [4] 王春生,卓乐友,艾素兰. 母线保护[M]. 北京:水利电力出版社,1987:309-409.

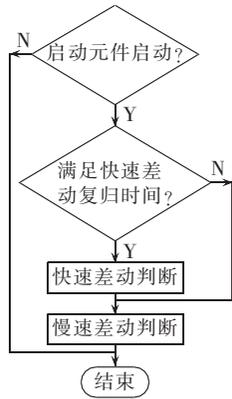


图5 差动保护启动流程图

Fig.5 Flowchart of differential protection startup

- [5] 袁季修,盛和乐. 电流互感器的暂态饱和及应用计算[J]. 继电器,2002,30(2):1-5.
YUAN Jixiu,SHENG Hele. The transient saturation of current transformer and its application calculation[J]. Relay,2002,30(2):1-5.
- [6] 国家电网公司. Q/GDW175—2008 变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范[S]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [7] 中国国家标准化管理委员会. GB/T14285—2006 继电保护和安全自动装置技术规程[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [8] 汪觉恒,唐卫华. 国内外各类母线保护技术特性分析[J]. 电力自动化设备,2000,20(1):43-45.
WANG Jueheng,TANG Weihua. Analysis of various bus-bar protection's technical characteristics[J]. Electric Power Automation Equipment,2000,20(1):43-45.
- [9] 宋方方,王增平,刘颖. 母线保护的现状及发展趋势[J]. 电力自动化设备,2003,23(7):66-69.
SONG Fangfang,WANG Zengping,LIU Ying. Status quo and development tendency of busbar protection[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(7):66-69.
- [10] 王志鸿,郑玉平,贺家李. 通过计算谐波比确定母线保护中电流互感器的饱和[J]. 电力系统及其自动化学报,2000,12(5):19-24.
WANG Zhihong,ZHENG Yuping,HE Jiali. An algorithm to distinguish current transformer's saturation by calculating the harmonics ratio of branch current[J]. Proceedings of the CSU-EPSA,2000,12(5):19-24.
- [11] 李忠安,何奔腾. 磁制动母线差动保护研究[J]. 继电器,2000,28(9):10-14.
LI Zhong'an,HE Benteng. Study on the differential protection of busbar with magnetic restraint[J]. Relay,2000,28(9):10-14.
- [12] 李岩,陈德树,张哲,等. 鉴别 TA 饱和的改进时差法研究[J]. 水利电力科技,2002,28(4):34-38.
LI Yan,CHEN Deshu,ZHANG Zhe,et al. Research of the improved time difference method to distinguish TA's saturation[J]. Hydraulic and Electric Power Technology,2002,28(4):34-38.
- [13] 袁宇波,陆于平,许扬,等. 切除外部故障时电流互感器局部暂态饱和对变压器差动保护的影响及对策[J]. 中国电机工程学报,2005,25(10):12-17.
YUAN Yubo,LU Yuping,XU Yang,et al. The influence and countermeasure to transformer differential protection of CT partial transient saturation caused by external fault removal[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(10):12-17.
- [14] 李丽,都洪基,刘林兴,等. 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.
LI Li,DU Hongji,LIU Linxing,et al. Research on confirming CT's saturation in busbar protection by calculating harmonic ratio[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(7):69-72.
- [15] 李瑞生,路光辉,王强. 用于线路差动保护的电流互感器饱和判据[J]. 电力自动化设备,2004,24(4):70-73.
LI Ruisheng,LU Guanghui,WANG Qiang. Transformer saturation criterion for line differential protection[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(4):70-73.
- [16] 项巍,吕航,李力,等. 母线保护中电流互感器的深度饱和和辅助判据[J]. 电力自动化设备,2005,25(9):39-42.
XIANG Wei,LÜ Hang,LI Li,et al. Distinguish current transformer's extreme saturation by waveform discrimination of branch

current[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(9): 39-42.

howe_2001@163.com);

史泽兵(1979-),男,湖北天门人,工程师,硕士,长期从事微机保护、变电站综合自动化、铁路电气化综合自动化方面的研究工作(E-mail:21112809@qq.com);

江卫良(1977-),男,湖北红安人,高级工程师,硕士,长期从事微机保护和变电站综合自动化方面的研究工作。

作者简介:

郝后堂(1974-),男,江苏盐城人,高级工程师,硕士,长期从事微机保护和变电站综合自动化方面的研究工作(E-mail:

Influence of CT saturation on differential protection during faulty line reclose and countermeasure

HAO Houtang,SHI Zebing,JIANG Weiliang

(State Grid Electric Power Research Institute,Nanjing 210003,China)

Abstract: The time difference method,a traditional way to identify CT saturation since CT may exactly transfer the primary current within 3 to 5 ms after fault,is theoretically analyzed based on site data. It shows that,in case of faulty line reclose,the polarity of CT strong remanence and that of the magnetic flux generated by following fault current are same and CT saturation occurs without time difference,which may result in the misoperation of fast differential protection. A complete-set resetting time T is proposed,within which,the fast differential protection operates only once. Theoretical analysis shows that,the rapidity of the differential protection for the faults inside the protection zone is not influenced by the resetting time while its reliability is enhanced in case of faulty line reclose or CT saturation. The proposed strategy is successfully applied in actual protection devices.

Key words: CT saturation; time difference method; differential protection; reclose; relay protection

广告索引

- 国电南京自动化股份有限公司 (封面)
南京南瑞继保电气有限公司 (封二,前插 1)
济南无线电十厂有限责任公司 (前插 2)
南京国电南自电网自动化有限公司 (前插 3)
广州致远电子股份有限公司 (前插 4,5)
广州虹科电子科技有限公司 (前插 6)
日东工业(中国)有限公司 (前插 7)
南京南自低压设备有限公司 (前插 8,9)
绵阳市维博电子有限责任公司 (前插 10)
山东迪生电气股份有限公司 (前插 11)
广东雅达电子股份有限公司 (前插 12)
南京科明自动化设备有限公司 (前插 13)
国电南京自动化股份有限公司 (前插 14,15)
威图电子机械技术(上海)有限公司 (前插 16,17)

- 国电南京自动化股份有限公司 (前插 18,19)
艾默生网络能源有限公司 (前插 20)
武汉百年基业通信科技有限公司 (文前页)
珠海优特电力科技股份有限公司 (封三)
北京博电新力电气股份有限公司 (封底)
航天长峰朝阳电源有限公司 (后插 1)
重庆新世纪电气有限公司 (后插 2)
武汉市豪迈电力自动化技术有限责任公司 (后插 3)
浙江中凯科技股份有限公司 (后插 4)
中国工控网 (文后 1)
第 13 届中国哈尔滨国际工业自动化及仪器仪表展览会 (文后 2)