

独立式电流互感器的安装对继电保护影响的研究

王 泱¹, 及洪泉², 冯 毅³, 李熙钦²

(1. 华北电力大学, 河北 保定 071003; 2. 北京市电力公司, 北京 100031; 3. 邢台供电公司, 河北 邢台 054001)

摘要: 继电保护与独立式电流互感器的一次侧极性端的安装方式密切相关, 非正确安装可能影响继电保护的動作行为, 造成事故停电范围扩大。通过分析和比较独立式CT的不同安装方式对不同类型继电保护的影响, 得出了独立式CT的正确安装方法, 并给出了CT非正确安装时的几种弥补措施, 同时指出其不足之处。电子式电流互感器二次侧原理与电磁型CT不同, 能够彻底解决独立式CT非正确安装方式对继电保护的影响。

关键词: 电流互感器 (CT); 电子式电流互感器 (ECT); 极性; 继电保护

Effect on relay protection of installing method of independent CT

WANG Yang¹, JI Hong-quan², FENG Yi³, LI Xi-qin²

(1. North China Electric Power University, Baoding 071003, China; 2. Beijing Electric Power Company, Beijing 100031, China; 3. Xingtai Power Supply Company, Xingtai 054001, China)

Abstract: Performances of relay protection is related to the primary winding's polarity of independent CT with its installing method closely. Incorrect installing method may cause different performances of relay protection, which maybe enlarge the influence of forced outage. Through analyzing and comparing with the influences to varying relay protection caused by different installing method of CT, correct installing method of CT are given, and at the same time some remedial measures with their defects are proposed. The ECT is commended to completely solve the influence caused by incorrect installing methods of independent CT to the relay protection, which has smart and convenient performances and different secondary theories.

Key words: current transformer; electronic current transformer; polarity; relay protection

中图分类号: TM773, TM452 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)24-0114-04

0 引言

电流互感器 CT (current transformer) 是电力系统电流测量和继电保护系统的重要组成部分, 其运行特性影响着测量的准确性和保护装置动作的可靠性^[1]。

常规设计图纸中没有明确 CT 一次侧极性端的安装标准, 在实际安装中, 一次设备施工人员往往疏忽或根本不清楚 CT 一次侧极性安装正确的重要性, 常常认为无所谓, 造成 CT 一次侧极性安装不正确。当实际发生故障时, 由于 CT 一次侧极性的安装的不正确, 常常引起事故停电范围扩大。

以差动保护为例, 若接入一个节点 (如母线、变压器单元等) 的各支路的 CT 极性完全正确, 则在正常运行及差动保护区外故障时差动电流为零, 即:

$$I_{cd} = \sum_{j=1}^n \dot{I}'_j = 0 \quad (1)$$

式中: I_{cd} 为差动电流, \dot{I}'_j 为支路 j 的二次电流。若差动回路中缺少 k 支路电流, 则在正常运行及差动保护区外故障时, 差动电流为 k 支路电流 I_k , 即:

$$I_{cd} = \sum_{j=1}^n \dot{I}'_j = I_k \quad (2)$$

若接入差动回路 k 支路 CT 极性接错, 则在正常运行及差动保护区外故障时, 差动电流为 k 支路电流的 2 倍, 即:

$$I_{cd} = \sum_{j=1}^n \dot{I}'_j = 2I_k \quad (3)$$

当差动电流大于动作值时, 差动保护就会误动。因此, CT 的极性及其安装方式对继电保护的 performance 影响很大, 不容忽视。

作者通过分析和比较 CT 一次侧极性的不同安装方式对继电保护动作行为的影响, 得出了 CT 的正确安装方法, 并给出了几种典型的 CT 的正确安

装方式,以提起设计人员、施工人员、运行人员和验收人员的注意。同时介绍了电子式电流互感器 ECT (electronic current transformer) 的原理和优点,指出使用 ECT 能够彻底解决电磁型 CT 安装方式不正确对继电保护的影响。

1 独立式电磁型 CT

1.1 独立式电磁型 CT 结构

传统的电磁型 CT 的作用是把大电流变成小电流,将连接继电保护、测量和计量的二次回路与一次电流的高压系统隔离,并将一次电流变换到 5 A 或 1 A 两种标准的二次电流值。电磁型 CT 的一、二次侧都有两个引出端子,一般均标有脚注(1 作头,2 作尾),采用减极性标注。其优点是当从一次侧极性端通入一次电流 \dot{I}_1 时,二次电流 \dot{I}_2 从二次侧极性端流出, \dot{I}_1 、 \dot{I}_2 同相位^[2]。一般一次端子极性标注为 P1 或 C1,二次极性标注为 S1,所有标有 P1、S1 和 C1 的接线端子在同一瞬间具有同一极性^[3]。

电磁型 CT 一次侧极性端 P1 与上铁帽是绝缘的或通过小避雷器绝缘的,而一次侧非极性端 P2 与上铁帽相连,或用导引线与上铁帽相连,见图 1。因此,若 CT 发生外绝缘闪络,相当于 P2 端发生接地故障。

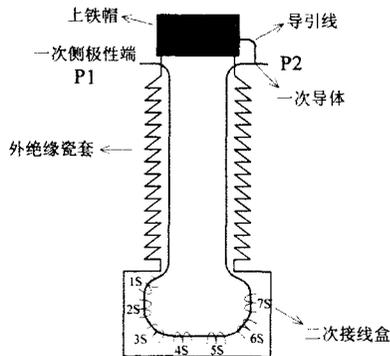


图 1 独立式电磁型 CT 结构图

Fig.1 Structure of independent electromagnetic CT

1.2 独立式电磁型 CT 二次绕组分类及用途

为了满足继电保护、测量和计量回路的需求,电磁型 CT 通常有多个二次绕组,CT 及其二次绕组接入保护回路的接线原则如下^[4]:

(1) 装小瓷套的一次端子应放在母线侧;

(2) 保护接入的二次绕组分配,应特别注意避免当一套线路保护停用(为了试验)而线路继续运行时,出现 CT 内部故障时的保护死区。

以图 1 所示的一个 220 kV 具有 7 套二次绕组的

LB7-220W 型 CT 为例,其 7 套二次绕组分别取名为 1S、2S、3S、4S、5S、6S 和 7S,依次布置在一次“U”型导体两侧,见图 2,其中 1S~5S 为 P 级。设计部门分配 CT 二次绕组时一般采用如下原则:1S、2S 分别用于线路保护一和线路保护二,3S、4S 分别用于母差保护一和母差保护二,这样可有效防止 CT 内部故障的保护死区(交叉接法),5S 用于故障录波;6S 为 0.2 级,用于测量控制;7S 为 0.2S 级,用于计量。

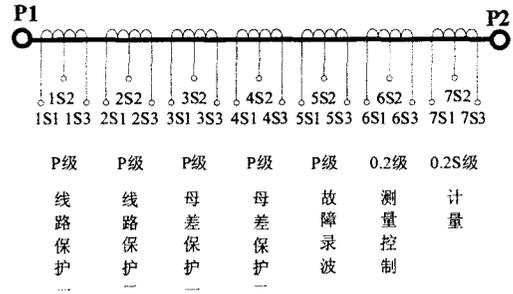


图 2 LB7-220W 电磁型 CT 二次绕组用途

Fig.2 Using of secondary windings of LB7-220W

P1 与 S1 端子极性相同,其中任何一侧的引出端子用错,都会使二次电流的相位变化 180°。但即使 CT 极性完全正确,由于独立式 CT 一次侧极性的安装方式不同,在电网故障下,继电保护的動作行为也相应地发生变化。

2 独立式电磁型 CT 的一次侧极性安装方式对继电保护影响的分析

变电站安装的独立式电磁型 CT 一般安装在开关的线路侧,早期的变电站也有装在开关母线侧的。下面将以 CT 安装在开关的线路侧为例,对不同情况下的继电保护动作进行分析。

2.1 CT 对地绝缘闪络时继电保护的動作分析

2.1.1 线路保护

(1) 双母线接线或单母线分段接线变电站的线路保护

当 P1 在母线侧时 CT 发生对地绝缘闪络,则母线提供的故障电流流经 CT 一次线圈,属于母差保护区外、线路保护区内故障,线路保护动作,跳开线路开关切除故障;当 P1 在线路侧时 CT 发生对地绝缘闪络,则故障电流不流经 CT 一次线圈,属于线路保护区外、母差保护区内故障,母差保护动作,跳开线路所在母线的的所有开关,切除故障,但这样就扩大了停电范围。

(2) 3/2 接线的变电站的线路保护

边开关 CT 一次侧极性在母线侧, 接反引起的问题同上。如果每一串只有 3 组 CT, 则中开关 CT 一次侧极性在中开关侧, P1 可统一靠近小号母线侧。

2.1.2 变压器保护

(1) 有单独断路器的双母线接线或单母线分段接线变电站的变压器保护

当 P1 在母线侧时 CT 发生对地绝缘闪络, 变压器差动保护动作; 当 P1 在线路侧时 CT 发生对地绝缘闪络, 母线差动保护动作, 或上级电源后备保护动作, 事故停电范围扩大。

(2) 内桥接线的变压器保护

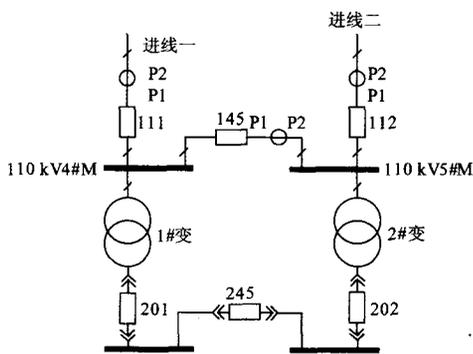


图 3 110 kV 内桥接线图

Fig.3 110kV inner-bridge electric systematic diagram

a. 若进线一 111 开关 CT 的 P1 在母线侧 (如图 3 所示), 当 111 开关 CT 外绝缘闪络时, 1#变差动保护电流为 $I_{cd} = \dot{I}_{111} + \dot{I}_{201} + \dot{I}_{145} = I_{111,d}$, 式中: $I_{111,d}$ 为流过 111 开关 CT 的故障电流, 因此 1#变差动保护动作, 跳开 111、145、201, 但故障并未消除, 需要由上级电源保护动作切除故障点; 若进线一 111 开关 CT 的 P1 在线路侧, 当 111 开关 CT 外绝缘闪络时, 1#变差动保护电流为 $I_{cd} = \dot{I}_{111,b} + \dot{I}_{201} + \dot{I}_{145} = 0$, 式中: $\dot{I}_{111,b}$ 为流过 111 开关 CT 的负荷电流, 属于 1#变差动保护区外故障, 1#变差动保护不动作, 需要由上级电源保护动作切除故障点。二者的事故停电范围相同, 进线一 111 开关 CT 一次侧极性的安装方式对事故停电范围无影响。

b. 若母联 145 开关 CT 的 P1 在 4#母线侧 (如图 3 所示), 当 145 开关 CT 外绝缘闪络时, 1#变差动保护电流为 $I_{cd} = \dot{I}_{111} + \dot{I}_{201} + \dot{I}_{145} = 0$, 2#变差动保护电流为 $I_{cd} = \dot{I}_{112} + \dot{I}_{202} = I_{145,d}$, 式中 $I_{145,d}$ 为流过 145 开关的故障电流, 因此 2#变差动保护动作, 跳开 112、145、202, 故障消除; 若母联 145 开关 CT 的 P1 在 5#母线侧, 当 145 开关 CT 外绝缘闪络时, 1#

变差动保护电流为 $I_{cd} = \dot{I}_{111} + \dot{I}_{201} = I_{145,d}$, 2#变差动保护电流为 $I_{cd} = \dot{I}_{112} + \dot{I}_{202} + \dot{I}_{145} = 0$, 因此 1#变差动保护动作, 跳开 111、145、201, 但故障并未消除, 需要由上级电源后备保护动作切除故障点, 引起事故停电范围扩大。

2.1.3 母线差动保护

若母联开关的 CT 安装在 4#母线侧 (5#M), 则要求 CT 一次侧极性端 P1 安装在 4#母线侧 (4#M), 如图 4 所示。

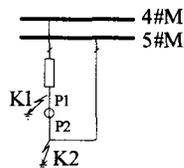


图 4 母联开关及 CT 接线图

Fig.4 Wiring diagram of bus-connector with its CT

a. 当 P1 在 4#母线侧时 CT 发生对地绝缘闪络, 相当于 K2 点故障, 此时 4#母线差动保护电流为 $I_{cd} = \sum \dot{I}_{4M} + \dot{I}_{145} = 0$, 5#母线差动保护电流为 $I_{cd} = \sum \dot{I}_{5M} = I_{145}$, 式中: $\sum \dot{I}_{4M}$ 、 $\sum \dot{I}_{5M}$ 分别为连接在 4#母线和 5#母线上的支路电流矢量和, \dot{I}_{145} 和 I_{145} 分别为 145 开关 CT 的电流矢量与幅值, 因此 5#母线差动保护动作, 跳开 5#母线所带的开关及母联开关, 切除故障点。

b. 当 P1 在 5#母线侧时 CT 发生对地绝缘闪络, 相当于发生了母联开关与 CT 之间的“死区”故障 (K1 点故障), 原理同上, 4#母线差动保护动作, 跳开母联开关及 4#母线所带的开关。但此时故障点并未切除, 需要再由母差保护相继动作功能延时切除 5#母线所带的开关, 才能切除故障点, 这样就引起事故停电范围扩大。

2.2 CT 内部故障时继电保护的動作分析

因为“U”型底部是电磁型 CT 的薄弱环节, 最容易发生接地故障, 所以当 P1 在母线侧时, 若“U”型底部发生接地故障, 则母线提供的故障电流流经 1S~4S (见图 2), 因此属于母差保护区外故障、线路保护区内故障, 线路保护动作, 跳开线路开关切除故障; 当 P1 在线路侧, 若“U”型发生底部接地故障, 则故障电流流经 5S~7S, 而 1S~4S 感受不到故障电流, 因此属于线路保护区外故障、母差保护区内故障, 母差保护动作, 跳开线路所在母线所有开关切除故障, 这样就扩大了停电范围。

3 应采取的补救措施

不同厂家、不同型号的独立式电磁型 CT, 其二次侧接线端子盒的朝向与 P1 的相对方位也不尽相同。然而在 CT 改造工程中, 由于二次电缆及其护管的方位已经确定, 加上改造工期紧等客观因素, 常常按照原 CT 的二次侧接线端子盒朝向安装新设备, 不能保证 CT 一次侧极性 P1 的安装方式正确。

3.1 改变一次和二次绕组的连接方式

有些 CT 生产厂家在 CT 上铁帽上设计了一个导引线, 通过改变导引线的连接方式, 可以使 P1 与 CT 上铁帽相连, 这时二次侧极性相应改变, 可以解决 CT 安装错误时 CT 外绝缘闪络对保护动作行为的影响。但有些厂家生产的 CT 只能 P2 侧与 CT 上铁帽相连, 此时无法消除 CT 安装错误对继电保护的影响。

但即使 P1 与 CT 上铁帽相连, 无法消除 CT 内部故障对继电保护的影响。以图 2 所示 CT 为例, CT 内部故障时母线提供的故障电流不能流经 S1~S4, 母差保护动作, 跳开线路所在母线所有开关切除故障, 扩大了停电范围。而且线路保护与母差保护没有实现交叉接法, 出现了保护死区。此时需要调整二次绕组的用法: 使线路保护用二次绕组尽量靠近 P2 端, 母差保护用二次绕组尽量靠近 P1 端, 以减轻 CT 内部故障对继电保护的影响。

3.2 注意事项

部分厂家生产的 CT 将 P1 端与上铁帽相连(如广东省中山市泰峰电气有限公司生产的 LVQB-220W2 型), 还有早期安装在开关母线侧的 CT, 它们一次侧极性端的安装方式应与上述讨论的规定完全相反; 若母联开关的 CT 安装在小号母线侧, 则要求 CT 一次侧极性端 P1 安装在大号母线侧。

因此在实际安装使用和验收 CT 时, 需要特别引起注意, 必须认真检查和查看, 必要时通过摇表进行测试, 确定实际连接情况。绝不能出现 P1、P2 均与上铁帽相连, 使 CT 二次侧不能正常工作的问题。对于已经运行的未正确安装的 CT, 应结合设备停电的机会逐步改正。

4 ECT 可以完全解决独立式 CT 安装问题对继电保护的影响

文献[1,5]介绍了 Rogowski 线圈式和基于 Faraday 磁旋光效应原理的 ECT, 它们均通过光纤进行输出, 采用 IEC61850 规约, 与合并单元 MU (merging unit) 接口, 输出信号可满足继电保护、测量和计量回路的需求, 一般采用双套测量系统冗

余配置, 不存在电磁型 CT 需要多个二次绕组的问题。

光纤本身不存在极性问题, 因此, 无需校验 ECT 的极性, 极性仅仅由安装位置决定。传统 CT 采用的是电信号传输方式, 任何电路的交叉或错接将使保护装置无法正常工作, 采用 ECT 后, 数据的传输均带有标记, 确保不会使用错误的的数据, 无需进行二次回路接线检查, 减少了原来繁重的查线工作^[6]。

ECT 也存在一次侧极性端, 安装要求同电磁型 CT。但是即使一次侧极性端安装不正确, 通过简单地改变导引线连接方式即可以改正, 而且它不存在电磁型 CT 内部故障的问题, 可以彻底解决独立式 CT 安装问题对继电保护的影响。

5 结论

安装在开关线路侧的独立式 CT 一次侧极性端应靠近母线侧, 安装在母联或分段开关与大号母线独立式 CT 一次侧极性端应小靠近母线侧。不正确的安装方式会影响继电保护的動作行为, 当电网发生事故时可能造成事故停电范围扩大。虽然通过采取一定的措施可以适当弥补独立式 CT 非正确安装给继电保护造成的影响, 但不能达到安装方式正确时的应有效果。

ECT 的二次侧原理与电磁型 CT 不同, 并具有灵活、方便、不易饱和等优良性能, 可以彻底解决独立式 CT 非正确安装方式对继电保护的影响, 是今后数字化变电站的发展方向。

另外, 目前国标中只有 CT 减极性的标准, 而对一次侧极性端 P1 的连接方式、二次侧接线端子盒的朝向与 P1 的相对方位等未做出明确规定, 建议国家或行业出台标准, 对这些问题统一标准。在设备招标采购中, 对不按照规范生产的 CT 厂商建议不予采购, 避免引起不必要的问题, 影响继电保护的安全可靠运行。

参考文献

- [1] 及洪泉, 张健, 杨以涵, 等. 计及电子式电流互感器的差动保护性能分析[J]. 电网技术, 2006, 30(23): 61-66. Ji Hong-quan, ZHANG Jian, YANG Yi-han, et al. Comment on Performance of Current Differential Protection Taking into Account Electronic Current Transformers[J]. Power System Technology, 2006, 30(23): 61-66.
- [2] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.

(下转第 128 页 continued on page 128)

社,1985.
 YU Er-keng. Power System State Estimation[M]. Beijing: Hydraulic and Electrical Engineering Publishing House, 1985.

[9] 兰华, 李积捷. 电力系统状态估计算法的研究现状和展望[J].继电器, 2007,35(10):78-82.
 LAN Hua, LI Ji-jie. Status Quo and Prospect of Algorithm of Power System State Estimation[J]. Relay, 2007,35(10):78-82.

[10] 张海波, 李林川. 电力系统状态估计的混合不良数据检测方法[J].电网技术,2001,25(10):17-20.
 ZHANG Hai-bo, LI Lin-chuan. A Hybrid Approach for Detection of Bad Data in Power System State Estimation[J]. Power System Technology, 2001,25(10): 17-20.

[11] 刘浩, 刘玉田. 模糊数学在状态估计不良数据检测辨识中的应用[J].电力系统及其自动化学报,1996,8(3):52-59.
 LIU Hao, LIU Yu-tian. The Application of Fuzzy

Mathematics at Bad Data Detection and Identification of State Estimation[J]. Journal of Shandong Institute of Architecture and Engineering, 1996,8(3):52-59.

[12] 张兴民,毛玉华,等. 利用图论方法进行多不良数据检测与辨识[J].中国电机工程学报,1997,7(1):69-72.
 ZHANG Xing-min, MAO Yu-hua, et al. Detection and Identification of Multi-bad Data Using Graph Theory[J]. Proceedings of the CSEE, 1997,7(1): 69-72.

[13] Draft IEC61970: Energy Management System Application Program Interface (EMS-API)-Part 501: CIM RDF Scsema[S].

收稿日期: 2008-12-22; 修回日期: 2009-06-17

作者简介:

许凯宁(1983-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统无功优化; E-mail: xkn_ujn_edu@sina.com
 程新功(1973-),男,副教授,硕士生导师,主要从事电压无功优化的研究工作。

(上接第 75 页 continued from page 75)

[15] 张蓓.四川电网发输电设备检修计划的协调优化(工程硕士论文)[D].重庆:重庆大学,2008.
 ZHANG Bei. Coordination Optimization of Generation and Transmission Maintenance Scheduling for Sichuan Power Grid, Thesis[D]. Chongqing: Chongqing University,2008.

收稿日期: 2008-12-17; 修回日期: 2009-03-05

作者简介:

颜伟(1968-),男,教授,博士生导师,主要研究方向:电力系统优化运行与控制;
 温元喜(1977-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统优化运行与控制; E-mail:wenyuanxi@yahoo.com.cn
 张蓓(1972-),女,硕士,从事电力系统运行调度工作。

(上接第 117 页 continued from page 117)

[3] GB 1208-2006,电流互感器[S].

[4] 电力工业部:电安生[1994]191号电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点[S].

[5] 郭志忠.电子式电流互感器研究评述[J].继电器, 2005, 33(14): 11-14, 22.
 GUO Zhi-zhong. Comment on the Research of Electronic Current Transformers[J]. Relay, 2005, 33(14): 11-14, 22.

[6] 黄学卫,董玉玲,董丽丽.数字化变电站中的非常规互感器[J].电力系统保护与控制, 2009, 37(8): 89-92.
 HUANG Xue-wei, DONG Yu-ling, DONG Li-li. Unconventional Mutual Inductor of Digital Station[J].

Power System Protection and Control, 2009, 37(8): 89-92.

收稿日期: 2009-06-17; 修回日期: 2009-08-21

作者简介:

王泱(1972-),女,工程师,硕士,主要从事电力系统分析、运行与控制的教学研究与管理工作;
 及洪泉(1972-),男,高级工程师,博士,主要从事光学电流互感器及其在电力系统中的应用以及电力系统分析、运行与控制的研究和管理工作。E-mail: Jihongquan@126.com