

CT二次回路跨站可恢复两点接地致保护误动事件分析

分析了一起CT二次回路在区外故障时发生的跨变电站可恢复两点接地引起的保护误动事件。首先，介绍了两变电站的接线方式及保护的配置情况。然后，以此为基础阐述了事件发生的经过及现象，介绍了事件原因的查找过程，指出电缆绝缘降低是本次事件的根本原因。结合两站接地网的接线方式，深入分析了CT二次电缆绝缘击穿机理，进一步证实了本次事件中的CT二次回路在区外故障时必然出现两点接地的结论。最后，从接地网连接方式和检修维护的角度提出了整改措施。

石吉银 邹焕雄 施 晟 胡文旺/国网福建省电力有限公司电力科学研究院

0 引言

电流互感器（Current Transformer, CT）及其二次回路是继电保护系统的重要组成部分。为了保证人身和二次设备的安全，防止保护误动作，根据文献[1]的要求，电流互感器的二次绕组及回路，必须且只能有一个接地点。然而，由于各种原因，CT二次回路可能出现两点接地的情况。在所发生的由于两点接地造

成保护不正确动作的案例中，主要原因包含两类：第一类是运维过程中人为操作不当导致CT二次回路两点接地^[2-4]；第二类是电缆绝缘降低导致的CT二次回路永久两点接地^[5-9]。

第二类两点接地发生时，常常由于CT二次回路分流造成保护不正确动作，或是由于两接地点的电位差使CT二次回路引入额外的电流造成保护误动作。本文介绍一起特殊的CT二次回路两点接地导致保护误动作的案例，该案例也属于第二类两点接地，与已报道的两点接地案例相比，其主要特点为跨站两点接地并呈现可恢复的特性。

1 接线方式及保护配置

系统接线图如图1所示。S1为220 kV变电站，配置2台220 kV主变压器，其220 kV侧和110 kV侧均采用双母线接线方式；S2为直流换流站，其1[#]换流变压器、2[#]换流变压器分别由电缆线路L1和



石吉银/高级工程师

关键词/Keywords

CT二次回路 ·
区外故障 ·
跨站两点接地 ·
可恢复两点接地 ·
保护误动 ·

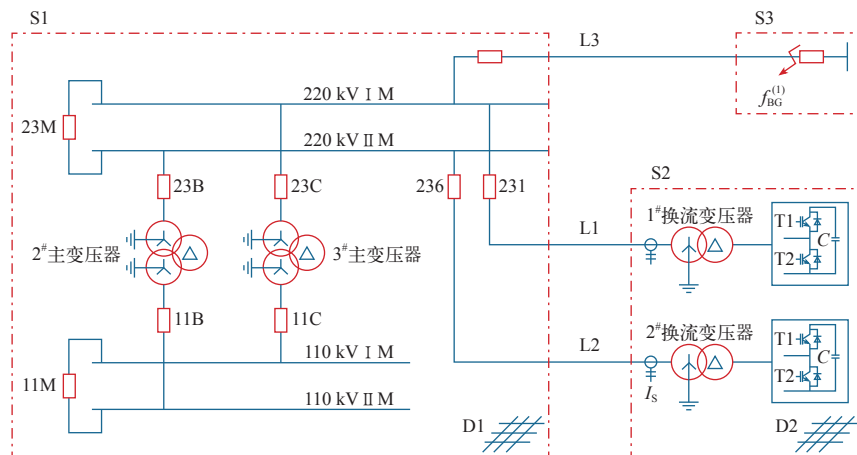


图1 系统接线图

L2连接至S1变电站。S1站和S2站距离约85 m, S1站接地网D1和S2站接地网D2均各自在站内单独敷设。S1变电站另有一回馈线L3连接S3变电站。

由于L1、L2线路较短, 其线路保护功能集成在对应的换流变压器保护中, 配置引线分相差动、零序差动等保护; 线路保护电流取S1站开关电流和换流变压器高压侧套管电流。换流变压器保护为三重化保护, 采用“三取二”出口方式, 即三套保护正常运行的情况下, 至少需要两套保护同时动作方出口跳闸。

2 事件经过及现象

事发前, 图1中各断路器均处于运行状态, S1站2[#]主变压器高、中压侧中性点均接地运行, 3[#]变压器仅中压侧接地运行; S2换流站1[#]换流变压器、2[#]换流变压器均接地运行, 各输送潮流约100 MV·A。

2017年2月17日11:30:48:037, 在L3线路靠近S3站断路器侧发生电缆头B相接地故障, L3线路保护正确动作并将故障切除, 故障持续时间51 ms。在此故障期间, S2站2[#]换流变压器A套电量保护报“引线分相差动”、“零序差动动作”, 保护装置“跳闸”灯亮。故障波形如图2所示。

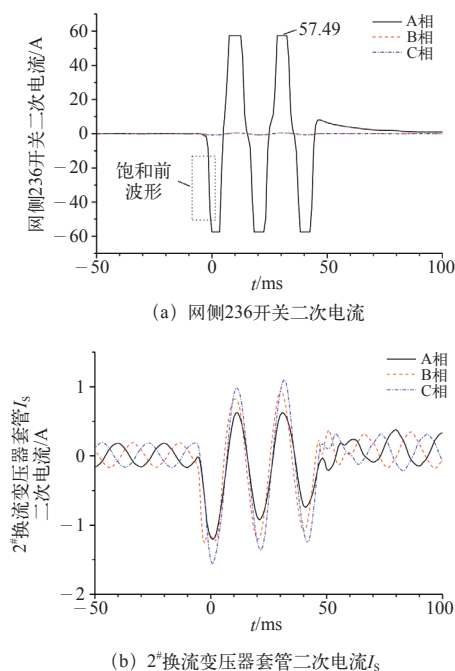


图2 2[#]换流变压器A套保护波形图

图2a中网侧236开关二次A相电流波形出现限幅和饱和现象; 图2b所示2[#]换流变压器套管电流 I_s 正常。因2[#]换流变压器B套、C套电量保护均未动作, “三取二”装置未实际出口跳闸, 2[#]换流变压器继续带负荷运行。

区外故障切除后, 2[#]换流变压器A套电量保护装置运行电流采样数据恢复正常, 差流计算值为0, “跳闸”信号可复归。

3 原因查找与分析

由图2a可知, 2[#]换流变压器A套电量保护网侧236开关CT二次回路A相电流最大幅值达到57.49 A, 其余相电流均正常。考虑A相为非故障相, 结合2[#]换流变压器B套、C套保护均未动作的现象, 可以推断2[#]换流变压器A套电量保护网侧236开关A相电流存在异常。其可能原因包含保护装置异常、CT本体异常或电流二次回路异常。

退出2[#]换流变压器A套电量保护, 对装置进行模拟采样试验, 测试数据合格。检查该相电流互感器本体, 未发现异常。检查该相CT二次回路接线正确且紧固。断开网侧236开关2[#]换流变压器A套电量保护用CT的一点接地点, 用万用表测量A相电缆芯对地电阻为1.41 k Ω , 而用100 V数字绝缘电阻表测试其对地绝缘为0。进一步检查该CT的二次回路, 在2[#]换流变压器A套电量保护柜内发现电缆头内部A相电流芯线存在破皮现象, 如图3所示。该破损点紧邻电缆屏蔽层。

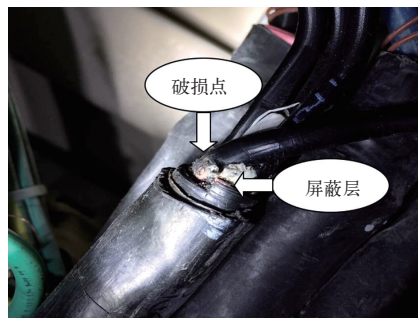


图3 CT二次电缆破损图

图4为236开关CT二次回路两点接地示意图。该CT固定一点接地点设置在S1站D1点, 图示S2站保护柜内A2点通过非线性电阻 R_f (在一定电压作

用下完全击穿)与电缆屏蔽层连接,造成CT跨站两点接地。图4中电缆屏蔽层在两端分别接入S1、S2站的等电位接地网,而各站的等电位接地网与本站的主接地网连接。L3线路上的接地故障,使存在接地运行变压器的两站分别产生电流 $3I_{0.S1}$ 和 $3I_{0.S2}$ 注入主接地网;入地电流使得两站主地网D1、D2点间产生压差,进而使保护柜A相CT二次回路流过较大的电流 I_A 。从图2a电流波形中截取饱和前数据进行三角函数拟合分析,估测 I_A 约为87.4 A。

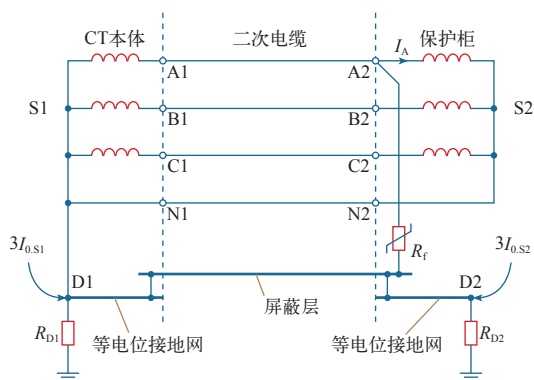


图4 CT二次回路两点接地示意图

进一步说明A相电缆芯破损处出现击穿接地的情况,需要对其击穿前 R_f 所承受的电压进行分析。图5为CT二次回路两点接地等效电路图,以D1为参考点, R_{C1} 为CT二次回路中A2点看入CT本体侧的电阻,现场实测为14.87 Ω ; R_{C2} 则为CT二次回路中A2点看入保护柜侧的电阻,现场实测为0.97 Ω 。 R_M 为连接两站地网的等效电阻,包含电缆屏蔽层电阻和两站电缆屏蔽层接地点至主接地网的电阻。事实上,现场存在多根一、二次电缆屏蔽层接入两站等电位接地网, R_M 的值难以实测。

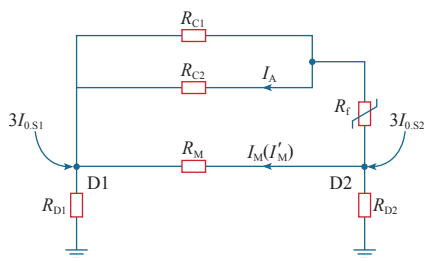


图5 CT二次回路两点接地等效电路图

R_f 击穿前,由于其电阻相对较大, R_f 上流过的

电流及故障电流 I_A 可忽略不计,设 R_M 电流为 I_M ,于是有

$$(3I_{0.S2} - I_M)R_{D2} - (3I_{0.S1} + I_M)R_{D1} = I_M R_M \quad (1)$$

R_f 击穿后,其电阻值为0,设 R_M 电流为 I'_M ,并

$$\text{令 } I_\Sigma = I'_M + \left(1 + \frac{R_{C2}}{R_{C1}}\right) I_A, \text{ 则有}$$

$$(3I_{0.S2} - I_\Sigma)R_{D2} - (3I_{0.S1} + I_\Sigma)R_{D1} = I_A R_{C2} \quad (2)$$

$$R_M I'_M = R_{C2} I_A \quad (3)$$

分析现场两站变压器故障录波数据,可得 $3I_{0.S1}$ 、 $3I_{0.S2}$ 分别为1 331 A、9 152 A;两站接地网电阻 R_{D1} 、 R_{D2} 实测值分别为0.620 Ω ^[10]、0.127 Ω ^[11]。

联立式(1)~式(3)可得 R_f 击穿前承受的电压为

$$I_M R_M = 106.8 \text{ V} \quad (4)$$

在该计算电压作用下,结合现场实测电缆绝缘情况,易知 R_f 在L3线路故障期间完全处于击穿状态,造成CT回路两点接地。

4 整改措施

对存在跨站CT二次回路的特殊运用场合,相关反事故措施文件中并未明确规定两站接地网的连接方式。针对本案例中S1站CT二次回路接入S2站换流变压器保护的情况,本文提出以下整改措施:

1) 连通两站主接地网。S1、S2站分期建设,各站的主接地网单独敷设,因接地电阻差异较大,正常运行时两站主接地网存在电压差,如图6所示。将两站主接地网使用铜排(缆)紧密连接,使接地网总面积变大,散流能力增强,接地电阻因而变小^[12],能显著减小两站接地网的电压差。

2) 改进电缆屏蔽层的接地方式。S1、S2站等电位接地网仅通过若干一次、二次电缆的屏蔽层连接。正常运行时,两站主接地网存在的电压差会使这些电缆屏蔽层流过电流,对传输信号产生干扰,并影响电缆的使用寿命。S1、S2站接地网连接示意图如图6所示。将S2站等电位接地网沿电缆沟延伸到S1站,电缆屏蔽层S1站侧也接入该等电位接地网。这种连接方法,因等电位接地网仅单点接入主接地网,内部各点不存在压差,将大大减小电缆屏蔽层中因地电位差而产生的电流。

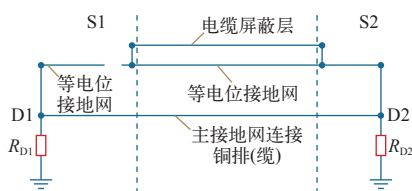


图6 S1、S2站接地网连接示意图

3) 加强对电缆绝缘性能的检查。电缆绝缘降低是本次事件的根本原因,因正常运行时保护装置并未出现差流告警等异常现象,该缺陷难以被发现。为避免类似现象再次发生,应重视基建、检修作业中二次绝缘的检查,及时发现绝缘降低的二次电缆并更换。

5 结束语

本文对一起CT二次回路两点接地导致保护误动作的事件进行了分析,阐述了故障原因的查找过程,并论述了二次电缆绝缘击穿的机理,提出了相应的整改措施。对跨变电站使用CT的场合进行了接地网连接方式分析探讨,提出了将两站主接地网连通,并将S2站等电位接地网延伸到S1站的解决方案。电缆绝缘降低是CT二次回路出现两点接地的主要原因之一,应当严格把关二次回路检验管理,杜绝二次电缆出现绝缘降低继续运行的情况。本文分析的案例对保护二次回路的检验和类似案例的分析提供了有益的借鉴和指导。

参考文献

- [1] 国家能源局. 防止电力生产事故的二十五项重点要求 [Z].
- [2] 乔星金, 陈健. 关于检修过程中存在的电流回路两点接地情况分析 [J]. 华东电力, 2013, 41 (8): 1768-1770.

- [3] 仇群辉. 一起500kV线路保护动作的分析及对策 [J]. 华东电力, 2008, 36 (10): 151-152.
- [4] 邱涛, 王攀峰, 张克元, 等. 一起二次回路两点接地引起母线保护误动的事故分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (24): 110-112.
- [5] 吴玉硕, 胡春江, 温定筠, 等. 110 kV及以上电流互感器常见故障分析及防范措施 [J]. 电气应用, 2014, 33 (23): 75-81.
- [6] 罗虎, 曲欣, 张亚娟, 等. CT二次回路故障引起主变差动保护动作的分析及处理 [J]. 电气应用, 2012, 31 (24): 52-54.
- [7] 刘飞, 余锐, 顾羽洁. 分流式两点接地导致差动保护动作情况的分析 [J]. 电气技术, 2013 (13): 75-78.
- [8] 吴文联, 刘岩水, 徐建平, 等. 一起220kV主变差动保护异常跳闸的分析 [J]. 浙江电力, 2014 (11): 66-69.
- [9] 李博, 孟庆党, 赵鸣, 等. 一起TA两点接地引起的发变组保护误跳闸分析 [J]. 山东电力技术, 2015, 42 (5): 74-77.
- [10] 丁苏, 黄国章, 韩建华, 等. 220kV湖边变地网电阻测试报告 [R]. 福州: 福建省送变电工程有限公司, 2015.
- [11] 叶国义, 孙利永, 王宪标, 等. 厦门柔性直流输电工程 (± 320 千伏湖边换流站新建工程) 接地装置试验报告 [R]. 福州: 福建中试所电力调整试验有限责任公司, 2015.
- [12] 弋东方, 钟大文. 电力工程电气设计手册 (电气一次部分) [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998: 911-912.

(收稿日期: 2017-04-01) EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告