

一起 10kV 开关动触头变形造成单相接地引起的保护越级跳闸分析

Analysis of a Protective Over-level Trip Caused by Single-phase Grounding Caused by the Deformation of the Moving Contact of a 10kV Switch

黄伟

Wei Huang

广西电网有限责任公司柳州供电局 中国·广西 柳州 545000

Liuzhou Power Supply Bureau of Guangxi Power Grid Co., Ltd., Liuzhou, Guangxi, 545000, China

摘要: 论文分析了一起 10kV 电容器开关内部动触头单相接地引起的越级跳闸事故, 结合故障录波波形详细分析了故障发生的原因以及各保护装置的动作行为。论文针对该开关内部接地故障, 分析电容器保护装置不动作, 接地所变保护装置动作的具体原因。结合此次事故, 提出了相应的预防及整改措施。

Abstract: This paper analyzes a step tripping accident caused by single-phase grounding of the moving contact in a 10kV capacitor switch, analyzes the cause of the fault and the action behavior of each protection device in detail with the combination of recording wave. In view of the internal grounding fault of the switch, this paper analyzes the specific reasons why the capacitor protection device does not operate and the ground transformer protection device operates. Combined with this accident, the corresponding prevention and rectification measures are put forward.

关键词: 单相接地; 电容器保护; 接地所变保护; 越级跳闸; 故障分析

Keywords: single-phase grounding; capacitor protection; ground transformer protection; leaping trip; failure analysis

DOI: 10.12346/etr.v3i10.4405

1 引言

电力电容器是一种静止的就地无功补偿设备, 主要作用是向电力系统提供容性无功, 提高功率因数, 改善电压质量, 降低线路损耗, 在电力系统中具有重要作用^[1]。但是电容器本体及其开关内部故障可能导致电容器保护拒动进而越级跳闸, 甚至可能造成大面积停电, 对电力系统的稳定构成了严重威胁^[2]。下面结合近期发生的一起 10kV 电容器单相开关内部接地故障, 电容器保护装置不动作, 而接地所变保护装置动作, 造成越级跳主变低压侧及分段开关, 分析开关动触头变形对电容器保护的影响以及相应的应对措施。

2 系统运行方式及开关动作情况

110kV 某某站 #1 主变停电预试定检工作, 10kV 分段开关 90 在合位, 10kV#1M 与 #2M 并列运行, #2 主变带全站负荷。09 时 32 分 51 秒 10kV#2 电容器开关冷备用转运行, 一次系统接线如图 1 所示。

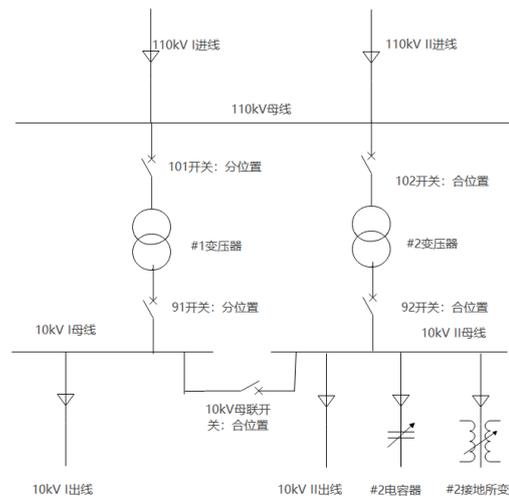


图 1 一次系统接线图

09:32:51.305, #2 接地所变保护装置零序 II 段保护动作, 跳开 10kV 分段 90 开关, 动作电流 2.13A; 09:32:51.605,

【作者简介】黄伟 (1989-), 男, 中国河南洛阳人, 本科, 工程师, 从事电力系统继电保护技术研究。

#2 接地所变保护装置零序 III 段保护动作，跳开 #2 主变 10kV 侧 92 开关，10kV#1、#2M 失压，动作电流 2.30A；09:32:52.631，#2 电容器保护装置低电压保护动作，跳开 C2 开关，动作电压 0V。

3 现场检查情况与各保护装置动作行为分析

3.1 现场一次、二次设备情况检查

一次设备情况：检查发现 10kV#2 电容器串联电抗器油位偏低，底部有渗油现象。开关 C 相导电臂有变形，断路器触指、刀闸臂有变形，柜内开关室静触头活门挡板处有脱漆轻微凹痕。C2 开关 C 相动触头发生严重变形。

二次设备情况：09:32:51.725，#2 电容器保护启动；09:32:52.631，#2 电容器保护装置低电压保护动作，动作电压 0V，保护装置内部插件无明显损坏痕迹，控制回路接线与图纸一致，保护装置定值与定值单一致。通过保护动作时间判断，低电压保护动作跳 C2 开关是在 #2 接地所变零序 III 段保护动作跳 #2 主变低压侧开关以后，由于 10kV#2M 失压导致，故 C2 电容器保护装置动作正确。在 #2 接地所变零序电流保护动作前，电容器保护装置未查询到相关动作报告，保护未启动。09:32:49.204，#2 接地所变保护启动；09:32:51.305，#2 接地所变保护装置零序 II 段保护动作，动作电流 2.13A；09:32:51.605，#2 接地所变保护装置零序 III 段保护动作，动作电流 2.30A。保护动作时序如图 2 所示。

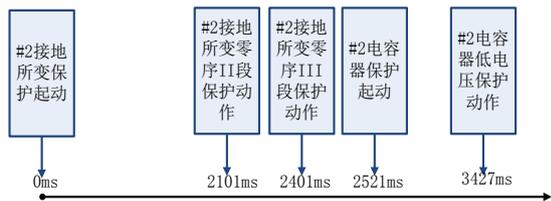


图 2 故障时序图

3.2 #2 接地所变保护动作行为分析

图 3 为 #2 接地所变保护动作录波波形，从图可知，故障发生时 ABC 三相相电流大小均约为 0.48A，大小相等，与零序电流对比其方向相同，大小为零序电流的 1/3，可判断为 #2 接地所变区外故障。

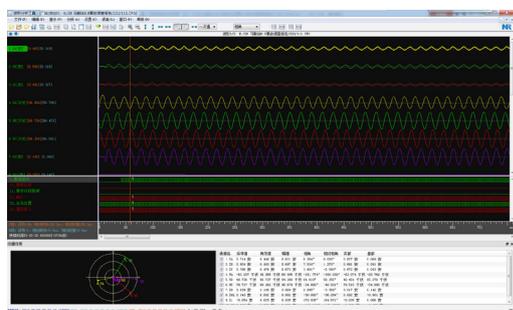


图 3 #2 接地所变部分录波波形

由于 #2 电容器 C 相开关变形造成接地故障，且 #2 接地

所变高压侧中性点接地，#2 接地所变中性点 CT 将通过零序电流。由录波可知，#2 接地所变中性点零序电流二次有效值为 2.136A（定值 1.9A），零序 II 段动作时间为 2101ms（定值 2.1s），零序 III 段动作时间为 2401ms（定值 2.4s），零序 II、III 段保护均达到定值，保护正确动作。

3.3 #2 电容器保护不动作行为分析

图 4 为 #2 电容器保护动作录波波形，#2 接地所用变零序 III 段跳 #2 主变低压侧开关后，#2 母线失压，保护启动，经 0.9s 延时，低电压保护动作，断开 C2 开关，保护正确动作。

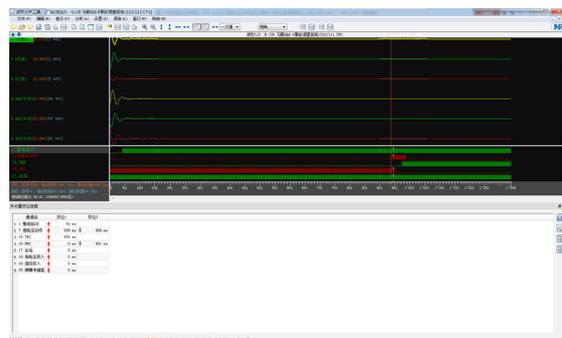


图 4 #2 电容器部分录波波形

3.4 故障原因理论分析

初步判断，#2 电容器由热备用转运行时，遥控合 C2 开关后，C2 开关 AB 相动触头与 10kV 母排接触带电，C 相动触头因严重变形直接与开关柜挡板接触，造成 C 相接的故障。其接地故障简化示意图如图 5 所示。

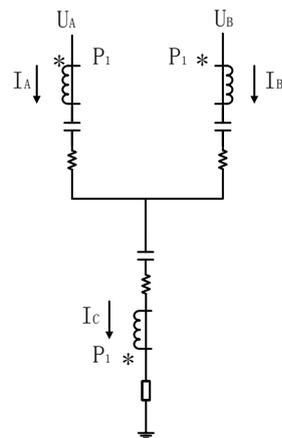


图 5 C2 开关 C 相单相接地简化示意图

由图 5 可知，故障发生时 A、B 相开关处于合位，A、B 相 CT 将流过一定的容性电流，方向为正极性端 P₁ 流入，负极性端 P₂ 流出；故障电流经过 C 相开关与挡板接地，C 相 CT 的电流方向为负极性端 P₂ 流入，正极性端 P₁ 流出。

对故障情况进行继续简化分析，A、B 相电压相当于回路中的两个电压源，根据电压叠加原理^[3]，故障电流为分别单独施加 A、B 相电压时的回路电流之和。

由于 #2 电容器保护装置零序电流为自产零序电流，即

为 A、B、C 三相故障电流之和, $3I_0=I_A+I_B+I_C=0$ 。通过理论计算, 在此种故障情况下装置零序电流采样值为 0A

3.5 #2 电容器保护开关内部故障现场实际模拟

为实际验证上述理论计算结果, 使用继电保护试验仪在 A、B 相 CT 正极性端 P_1 注入电流, 经负极性端 P_2 流出, 用试验线将 A、B 相 CT 的负极性端 P_2 短接后引入 C 相 CT 的负极性端 P_2 , 电流再经 C 相 CT 的正极性端 P_1 返回试验仪, 如图 6 所示。

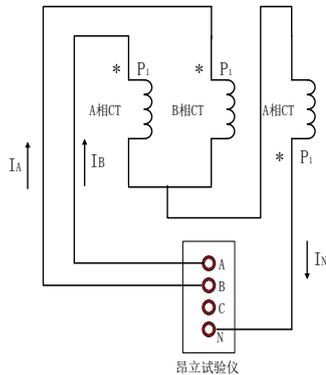


图 6 实际模拟试验接线图

对 A、B 相 CT 分别注入不同大小和角度的电流, 经多次试验发现用电流表测得零序电流二次回路的电流均为 0A。因此, 通过理论分析和实际模拟试验, 可判断 #2 电容器开关 C 相动触头发生接地故障时保护装置自产零序电流为 0A。

3.6 理论及实际模拟试验结论

①通过上述分析可知, 故障发生后 #2 电容器保护装置实际无零序电流, 即零序电流为 0A, 零序电流保护不动作, 保护逻辑正确。

②此种故障情况下, 回路电阻为 A、B 相容抗并联后与 C 相容抗串联后经过接地电阻接地, 由于回路中存在较大的阻抗, 使得 A、B 相故障电流明显小于正常运行时的电容器额定电流。不计接地电阻和电容器串联电抗值, 流过 C 相的故障电流 $I_C=0.5 \times I_{\text{额}}=165.5\text{A}$, 小于过流 III 段定值 600A, 故在此种故障情况下过流保护不动作, 保护逻辑正确。

③保护装置不平衡电压为电容器本体三相 PT 二次侧首尾相接后的开口电压, 故障时 A、B、C 三相电容器两端电压分别为公式 (1) - (3)。

$$U_{A0} = I_A \times Z_A = \left(\frac{U_A}{Z_A + Z_B // Z_C} - \frac{U_B}{Z_B + Z_A // Z_C} \times \frac{Z_C}{Z_A + Z_C} \right) \times Z_A \quad (1)$$

$$U_{B0} = I_B \times Z_B = \left(\frac{U_B}{Z_B + Z_A // Z_C} - \frac{U_A}{Z_A + Z_B // Z_C} \times \frac{Z_C}{Z_A + Z_C} \right) \times Z_B \quad (2)$$

$$U_{C0} = I_C \times Z_C = \left(\frac{-U_A}{Z_A + Z_B // Z_C} \times \frac{Z_B}{Z_B + Z_C} - \frac{U_B}{Z_B + Z_A // Z_C} \times \frac{Z_A}{Z_A + Z_C} \right) \times Z_C \quad (3)$$

式中, Z_A 、 Z_B 、 Z_C 分别表示各相的阻抗, 其中 $Z_A=Z_B \approx Z_C$ 。 U_{A0} 、 U_{B0} 、 U_{C0} 分别为 A、B、C 三相电容器两端电压。

不平衡电压为电容器三相电压之和^[4], 即 $U_L=U_{A0}+U_{B0}+U_{C0}=0$ 。所以不平衡电压保护功能不动作, 保护逻辑正确。

4 故障原因分析

值班员将 #2 电容器 C2 开关推至工作位置时由冷备用转运行时, 操作方法不正确, 未发现存在卡涩, 强行操作 C2 开关, 造成开关动触头变形。也未通过开关柜观察窗对 C2 开关到位情况进行检查。

C2 开关 C 相动触头严重变形, 导致电容器组 C 相开关通过挡板接地, 使得 #2 接地所变高压侧中性点有零序电流通过, 达到 #2 接地所变零序电流保护定值, 跳开 10kV 分段开关和 #2 主变低压侧开关, 引起 #2 接地所变零序保护动作导致 10kV#1M、#2M 失压。

5 预防及应对措施

对于开关小车操作流程进行优化, 做好操作前、操作中、操作后的检查工作, 防止因零部件卡涩导致设备损坏。

对于开关柜等设备有视线遮挡, 影响观察巡视的问题, 统一梳理, 并提出整改需求, 防止类似事件再次发生。

在同一厂家开关柜内装设红外温度探头, 实时监控开关柜内温度, 严防开关柜内开关动静触头接触不良温度升高造成的开关烧损。

提高日常维护质量, 杜绝开关触头表面附着尘埃、触头表面腐蚀、触头表面受有机物污染导致的开关触头接触不良问题。

参考文献

- [1] 杨梅, 李方恺. 电力电容器的维护与运行管理[J]. 科技与企业, 2012(19):169.
- [2] 周瑞旦. 一起电容器爆炸导致保护越级跳闸事故分析[J]. 工程技术(文摘版), 2016(5):297.
- [3] 杨德海. 浅析叠加原理[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2011(18):2.
- [4] 姚成, 裴书群. 三相电压不平衡对开口三角保护的影响[J]. 电力电容器与无功补偿, 2010(1):9-11.