

Synthetic Fault Analysis of a Relay Protection Override Trip

Zhongde Gu, Xi Zhang, Min Tu

Changshu Power Supply Company, Changshu
Email: csguzd@js.sgcc.com.cn

Received: Sep. 28th, 2012; revised: Oct. 19th, 2012; accepted: Oct. 29th, 2012

Abstract: In this paper the author try to find the reasons led to the relay protection override trip in 10 kV system. Analysis is conducted directing at the phenomena, relay protection diagrams and experiment data. In the end the author put forward the workable solution and suggestion.

Keywords: Main Transformer; Back-Up Protection; Relay Protection Device; Power Lines; Synthetic Fault

一起主变低后备疑似误动作事件综合分析

顾仲德, 张 曦, 屠 旻

常熟市供电公司, 常熟
Email: csguzd@js.sgcc.com.cn

收稿日期: 2012年9月28日; 修回日期: 2012年10月19日; 录用日期: 2012年10月29日

摘 要: 本文对某变电所主变低后备动作事件进行原因查找分析, 根据事故前运行方式和有关开关继电保护故障录波图, 对罕见的保护装置拒动故障、线路复合故障进行了分析, 重现了故障的发生、扩大过程, 并提出了切实可行的解决方案和运行建议。

关键词: 主变; 低后备; 保护装置; 线路; 复合故障

1. 引言

继电保护装置是电力系统密不可分的一部分, 是保障电力设备安全和防止、限制电力系统大面积停电的最基本、最重要、最有效的技术手段。继电保护一旦发生不正确动作, 往往会扩大故障, 酿成严重后果。目前广泛使用的微机保护有很多优点, 但仍时有不正确动作的事故发生。2012年2月14日某变电所发生的一起复合故障非常罕见, 导致主变低后备保护越级动作, 扩大了停电范围。

2. 故障简述

2012年02月14日17时55分和18时01分, 常熟监控 OPEN3000 发某变电所“123 环立线速切动作, 重合不成”; “#2 主变复合过流 I、II 段动作, 102#2

主变开关跳开”等信号, 10 kV II 段母线失电。事故发生时, 123 环立线为 10 kV II 段母线馈电运行。

123 环立线保护为 RCS-9611C, 两相式 CT, 600/5A, 定值: 过流 I 段 29 A, 0 S; 重合闸加速不成投。#2 主变低后备保护为 RCS-9681C, 三相式 CT, 4000/5, 主变低压侧复压过流保护只投过流 I、II 段, 复压过流 I 段: 11 A, 1.1 S; II 段: 11 A, 1.4 S。事故经过详见表 1、表 2。

从现场一次设备检查情况看, 123 环立线开关和 102#2 主变开关现场实际位置显示为分闸, 10 Kv II 段母线三相失电, #2 主变 110 kV 侧 1102 进线开关运行状态, 主变带电且外观检查正常, 102#2 主变开关及 123 环立线开关外观检查无异常, 10 kV 开关室内无异味、烟雾以及异常声响。同时 10 kV II 段母线上

Table 1. The state of the relay protection in the 123 breaker
表 1. 事故中保护及 123 开关动作情况信息采集表

发生时间	监控信号
17 时 46 分 30 秒 468 毫秒	保护整组启动
17 时 46 分 30 秒 493 毫秒	过流 I 段动作。AB 相故障, I_{Amax} 48 A, 一次故障电流值 5760 A
17 时 46 分 32 秒 557 毫秒	重合闸动作
17 时 46 分 32 秒 625 毫秒	过流 I 段动作。ABC 相故障, I_{max} 94.48 A 注意! 早于主变低后备动作时刻 33 秒 256 毫秒
17 时 46 分 42 秒 691 毫秒	保护整组返回, 比动作时间晚了 10 秒钟!

其他所有开关也均正常, 电容器以及消弧线圈检查正常。现场二次设备检查, 除 123 环立线保护及#2 主变低后备保护动作外, 其它 10 kV II 段母线出线保护装置正常。

判断为#2 主变低后备保护越级误动。19 时 05 分常调口令合上 102#2 主变开关, 母线送电正常。19 时 06 分至 19 时 12 分成功送出除 123 环立线外全部出线。

123 环立线开关改检修, 进行检查和试验, 外观检查、交流耐压、保护传动等全部合格。

123 环立线当夜进行故障特巡, 除发现 13#杆(双回路钢管转角杆)处有两个鸟窝有放电外, 未找到其它故障点。后通过联络线倒送电, 只将 123 环立线#1~#7

Table 2. The state of the relay protection in the 102 breaker
表 2. 事故中保护及 102 开关动作情况信息采集表

发生时间	监控信号
17 时 46 分 29 秒 991 毫秒	低后备整组启动
17 时 46 分 33 秒 256 毫秒	低后备复压过流 I 段动作(跳分段并闭锁备投)。 AB 相故障, I_{max} 12.32 A(整定定值 11 A)
17 时 46 分 33 秒 556 毫秒	#2 主变低后备复压过流 II 段动作(跳 102 开关)。 A 相故障, I_{max} 12.03 A(整定定值 11 A)
17 时 46 分 34 秒 101 毫秒	#2 主变低后备整组返回

杆隔离停电。

对保护动作过程进行了初步分析:

1) 123 环立线保护动作基本正确, 为典型的线路永久故障重合不成再跳闸。疑问是保护返回时间长达 10 秒钟。

2) #2 主变低后备保护越级误动。从保护动作时序看, 123 线路保护已经第二次发出跳闸命令, 应该可以切除故障点, 但#2 主变低后备保护仍然动作!

该变电所当地后台于 2002 年投运, 暂时无法从现场直接调阅 123 环立线和#2 主变低后备动作的电流、电压波形图。为分析故障原因, 联系厂家第二天到现场从保护装置中导出了波形图, 见图 1、图 2。

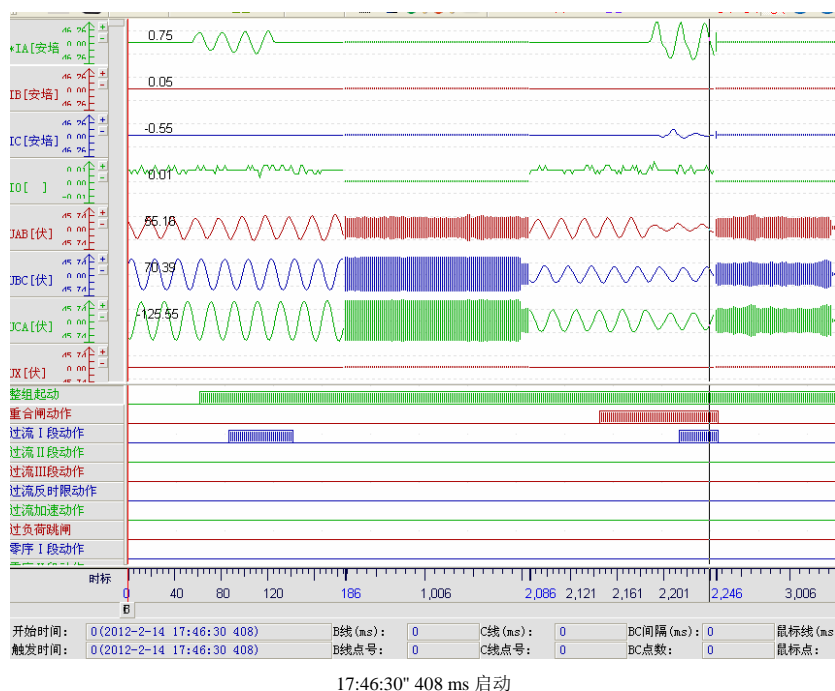


Figure 1. Fault wave diagram in the 123 relay protection device
图 1. 123 环立线保护故障录波图

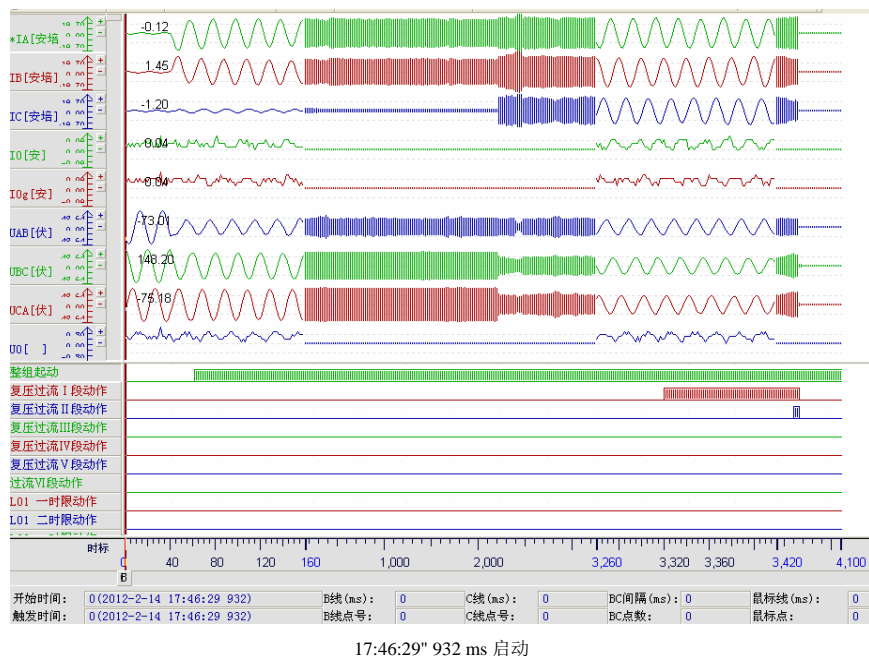


Figure 2. Fault wave diagram in the 102 relay protection device
图 2. #2 主变低后备故障录波图

3. 故障分析

3.1. 保护动作分析

线路保护与主变低后备保护基本同时启动，主变保护早于 123 环立线保护约 0.5 s 启动。

从电流波形看，123 环立线的电流波形非常清楚，两次产生故障电流(B 相无 CT)，两次被线路开关切除！但从主变低后备来看，故障电流未见中断，一直在持续！且持续时间约 3.4 s，大大超过了低后备延时 1.4 s。是不是低后备采样故障，通道某种原因进入死循环了呢？仔细查看电流幅值，一是主变故障电流在定值 11 A(有效值)附近上下波动，开始时并未连续多个周波大于整定值；二是主变低后备换算出的故障电流 9624 A 与线路保护第一次动作时的 5760 A，明显不对应，差了将近一倍！线路保护第二次动作时达 11,338 A，与主变保护反映的故障值差别不大，但线路保护第二次动作时，其电流波形呈尖顶波，有明显的饱和现象。C 相的饱和更加严重，电流波形完全失真。

从电压波形看，线路保护与主变保护的电压波形始终是一致的。从录波开始电压就一直不正常，开始是 AB 两相短路故障，Uab、Ubc 电压明显跌落；到了中间一个时刻(123 还未重合时)又发生了三相短路，此时三相电压全部明显跌落，超过 123 第二次故障电

流消失时刻，一直到主变低后备动作切出母线。

综合分析 123 环立线保护与主变低后备保护的動作过程基本正常，但也有矛盾的地方：一方面，从两个保护基本同时启动来看，123 环立线的故障与主变低后备动作有一定的相关性；另一方面，正常的短路故障，故障电流与电压跌落是同时发生的，低后备保护符合这个规律，但 123 线路保护明显不符，这又说明 123 环立线上的故障点与主变低后备的动作是没有关系的！

系统上肯定还存在未查到的与 123 环立线有关联的故障！

3.2. #2 主变低后备动作原因查找

当夜的事事故巡线发现了 13#杆处的放电点，跳线上放电痕迹轻微，肯定不是引起主变低后备动作的故障点。

2 月 15 日对 123 环立线出线段(1#~26#)停电登杆检查(1#~26#杆同杆的 124 康迪线陪停)，同时检查出线电缆及通道情况。经查，出线电缆绝缘良好、耐压正常；出线段通道清楚，导线、线路通道附近及地面上无异物放电遗留痕迹。询问附近居民，仅反映当时远处有火光及响声，具体方位不是很清楚。故障点未找到！

在变电所查故障的人员再次对每一台线路保护装置进行检查，当查到处于停电检修状态的 124 康迪线保护时，发现装置发“TWJ 异常”告警。检查开入量正确，再查装置的采样，电压采样正常且正常刷新，但电流采样却有明显异常：开关分闸状态下，保护和测量电流 A、C 相均保持在 0.47~0.48 A 之间，基本不变(报警原因)，后台测量则一直显示 57.85 A。再细查 OPEN3000，发现从 2011 年 12 月 15 日 5:40 分(当天未有任何操作)起，电流测量值一直保持在 57.85 A，OPEN3000 给出的状态是“不变化”。

保护采样不正常正是保护拒动的原因！

通过试验仪给装置加保护采样进行证实：加 1 A 或 5 A 电流时，装置显示的电流几乎不变；在加 32 A(超过过流 I 段整定值 29 A)电流，装置显示的电流跳变到 1 A 左右，后又很快降回 0.48 A。显然，保护采样不正常，导致故障电流通过时保护装置拒绝动作！而在正常线路带电运行时，保护装置却连一点告警信号也没有！

查交流插件外部螺丝已拧紧，用手按压采样无变化。按装置前面板上的“复位”按钮进行复位操作后再加保护采样电流、进行传动试验一切正常！

因此本次故障是由于 124 康迪线保护装置采样异常，保护拒动，引起#2 主变低后备保护越级动作，切除了永久故障^[1]！这也解释 123 环立线保护异常的电压录波。顺便提一下，其保护返回时间 10 s 与重合闸动作后“开关弹簧未储能”，还在“控制回路断线”有关。

3.3. 故障点的计算与查找

#2 主变低后备动作的原因找到了，但线路永久故障点还未找到。从故障录波来看，10 kA 左右的故障电流持续燃弧 3.4 s，按理说故障点导线应有明显的烧蚀、断股等，应容易目视找到，然而线路安排了三次针对性的巡线还是未查到！

能不能通过故障电流推算故障点大概位置，进而缩小查找范围呢？

首先，根据线路参数和变压器阻抗计算得到变电所 10 Kv II 母线侧的短路阻抗标么值为 3.46，再根据 $X1 = 0.0029 \times f \times \lg(Dm/Re)$ 计算得到 LGJ-240/30 线路阻抗为 2.5 左右，400 电缆标么值为 0.49。

根据计算阻抗、已知故障电流推算故障点。

根据 123 环立线 AB 相不接地相间短路故障，48 A，CT: 600/5。对比主变低后备中的电流可见 123 环立线 A 相故障电流实际是仅是总的 A 相故障电流的一部分，另外一部分在 124 康迪线 A 相。按 123 A + 124 A 与 124 B 故障进行推算，故障点 0.5 km。

根据 123 环立线三相短路故障，94 A，CT: 600/5，推算故障点 0.53 km。

根据#2 主变低后备 AB 相不接地相间短路故障，12.32 A，CT: 4000/5，推算故障点 0.51 km。

通过三个故障电流值推算出的故障点实际只有一个，且离变电所出口比较近。

现场实际勘查 123 环立线/124 康迪线#1~#26 杆同杆部分，发现#1 电缆上杆钢管塔为双回路垂直排列，但仅一档约 50 米后#2 杆就改成了水平排列，档距中间导线交错，其中 123 A 相与 124 B 相导线间距相对较近，估计 30~40 cm，存在故障可能，见图 3。不过，一方面 10 kV 线路运行电压较低，若放电的话导线基本上就要碰上了；另一方面该同杆线路于 2011 年 3 月投运，经历了 2011 年夏天雷雨大风、冬天西北大



Figure 3. The arrangement of the lines (As shown in the left graph line 124 is arranged in the left and line 123 is arranged in the right of the No.1 tower. The phase-sequence is arranged up and down like BAC; As shown in the right graph line 124 is arranged in the bottom and line 123 is arranged in the top of the No.2 tower. The phase-sequence is arranged left and right like CBA)

图 3. 左#1 杆，BAC 上下排列，左 124 右 123；右#2 杆，CBA 左右排列，上 123 下 124



注意红圈部分，故障放电处

Figure 4. The cross of the lines in the medium
图 4. 档距中央导线交错

风的考验，而 2 月 14 日故障当天仅小雨、微风，没有其它原因，导线是不可能相碰放电的。

目视观察，发现档距中央导线上有几个可疑白点，很像是鸟粪，但是用 8 倍望远镜、能放大 100 倍的经纬仪仔细看，发现这些白点是经历过电弧烧蚀后露出的铝金属本色，见图 4。

再用经纬仪仔细观察 123 环立线 A 相与 124 康迪线 AB 相相对处的导线，发现相对应的两条导线上均出现了一长条点状放电痕迹，而且还有过火后的青蓝色及黑色氧化痕迹。不过总体上看，导线烧蚀并不严重，没有断股，见图 5、图 6。

3.4. 复合故障还原

123/124 双回路 13#转角杆由于某种原因(如筑巢异物)发生 124 康迪线 AB 相相间短路故障，短路产生电动力造成#1~#2 杆间 A、B 相导线相对晃动(不同于大风引起的同方向摆动)，由于下层的 124 康迪线 B 相与上层的 123 环立线 A 相导线距离较近，约 0.5 s 后扩大为#1~#2 杆间 124 B 对 123 A 及 124 A 的相间

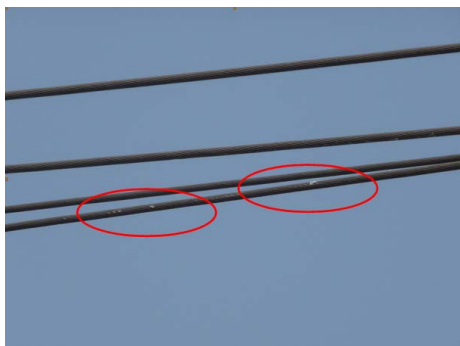


Figure 5. The discharge phenomenon look like the shit of the bird
图 5. 像是鸟粪的放电痕迹

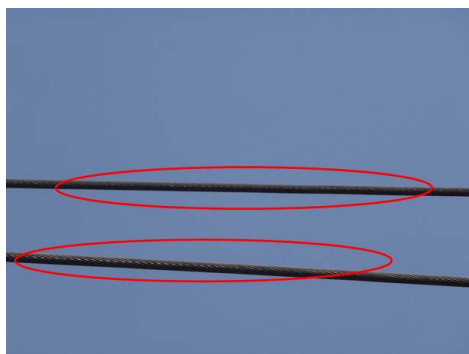


Figure 6. After the circuit-short a long blue and black dot-shaped discharge details are shown in the lines
图 6. 一长条点状放电痕迹，过火后的青蓝色及黑色痕迹

短路故障，这从低后备反映的电流变化也可看出；123 环立线的故障很快切除了，但 124 康迪线的 AB 相短路由于保护拒动，电弧持续燃烧，并在电动力作用下向负荷侧移动，故障点附近空气强烈电离，充满带电粒子，约 2.2 s 后 124 康迪线发展为三相短路(低后备电流及电压波形)。

当 2.5 s(相对于低后备启动时间)后 123 环立线重合时，由于下面的 124 康迪线三相短路电弧还在燃烧，导线附近充满带电粒子，因此上层的 123 环立线立即三相短路(低后备电流有突变)，123 保护正确动作切除；而 124 康迪线保护一直拒动，最终由#2 主变低后备动作切除故障。

由于为非金属短路故障，存在一定的弧道阻抗，因此推算的故障点要较实际故障点远。

此次故障短路电弧为移动性的，并未固定一点燃弧，因此故障电流虽达 10 kA，持续了 3.4 秒，但导线损伤还不大。

4. 整改及运行建议

首先，123 环立线/124 康迪线 13#双回路杆异物短路故障是本次事故的直接原因；123/124 同杆架设线路 1#~2#杆间不合理的垂直改水平排列，致双回路异相导线在发生故障时安全距离不足扩大了本次事故。因此，线路设计施工时应严格执行标准、规范，并立即进行排查整改，同时日常运行维护需注意通道清理，清除鸟窝等异物，防止异常发生。

其次，124 康迪线保护装置因采样回路存在问题，导致在故障发生后保护拒动且无任何异常告警信息发出，这是#2 主变低后备保护动作扩大事故停电范围的直接原因。微机保护装置的采样回路直接关系到保护的正确动作^[2]，是十分重要的回路，厂家应进行整改，通过软件增设逻辑条件对装置的采样回路进行判断，对上述采样值长时间不予更新的应及时发出告警，避免保护拒动；作为运行单位，除了新投时注意采样值比对外，每年应结合春检、秋检等进行装置采样值与实际值的比对；日常巡视应注意检查和及时恢复保护的一些告警信号，防止因告警信号未及时复归导致保护处于非正常工作状态；作为监控单位，对 OPEN3000 给出的状态异常信号应有相应的监控管理办法，以防止遗漏重要状态量。

最后,对于 10 kV 母线短路容量较大的系统,10 kV 出线流变的 10% 误差应仔细核算。本次故障 123 环立线流变 10% 误差 20 倍额定电流即 12 kA,稍大于实际故障电流,但已经出现了严重的饱和现象,说明该流变实际饱和特性并未达到铭牌要求。全部出线流变应予以更换,防止近区故障时流变饱和影响到保护的正确动作。

参考文献 (References)

- [1] 国家发改委 DL/T 584-2007. 3~110 kV 电网继电保护装置运行整定规程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 国家电力调度通信中心编. 电力系统继电保护典型故障分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.