

一起双电源小电流接地系统异名相两点 接地短路故障分析

朱凤娟 姚元文 陈 澍 宋全林 杨 夏

(国网四川省电力公司天府新区供电公司,四川成都 610041)

摘要: 以一起 35 kV 线路单相接地演变为异名相两点接地短路故障,最终引起主变压器跳闸故障为实例,通过站内故障录波波形分析,进而推测故障点及演变形式。通过故障电流及已知参数测算线路故障点范围,提高了线路故障点排查效率,对同类型故障分析有一定参考意义。

关键词: 异名相两点接地;故障演变;故障点排查

中图分类号: TM771 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2018)05-0010-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.05.003

Analysis on A Two Points Ground Fault Occurred in Different Phases of Small Current Grounding System with Two Power Supply

Zhu Fengjuan, Yao Yuanwen, Chen Lian, Song Quanlin, Yang Xia

(State Grid Tianfu New Area Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: A case is introduced that a single-phase grounding in 35 kV line develops two points ground fault occurred in different phases, which causes a transformer to be cut off. In order to find the fault point and its evolution, the waves of current and voltage recorded in substation when the fault happened are analyzed. The fault range is calculated with the fault current and the known parameters, which improves the efficiency of fault detection and provides some references for fault analysis of the same kind.

Key words: two points ground fault; fault evolution; fault detection

0 引言

中国 3~66 kV 配电网一般采用中性点不接地或经消弧线圈接地等非有效接地方式,也叫小电流接地系统。^[1-3] 发生单相接地故障时,非故障两相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍而线电压不变,故不影响三相设备的正常运行。此种接地方式提供了高供电可靠性,然而系统带单相接地故障运行过程中,可能产生异常过电压,发生铁磁谐振时过电压值可达到相电压的 4 倍,发生间隙性弧光接地时有可能达到相电压值的 3.5 倍^[3-6]。异常过电压可能引起其余两相在绝缘薄弱处相对地绝缘击穿,形成不同地点的异名两相接地。下面就一起 35 kV 线路短时单相接地引起异名相两点接地短路,导致主变压器跳闸故障实例进行分析,对同类型故障分析有一定参考意义。

1 故障概要

故障分析数据显示 2018 年 3 月 16 日 23:12:36,某 110 kV 变电站 1 号主变压器比率差动保护动作,跳开主变压器三侧开关。同时,35 kV 线路一断路器 352 速断保护跳闸,重合闸动作成功,并报主变压器差动保护动作信号、线路速断保护动作信号、事故总信号。

2 系统运行方式

保护动作前,某 110 kV 变电站运行方式如图 1 所示,全站由 110 kV 甲电源线主供,乙电源线热备用。高、中压侧并列运行,低压侧分列运行,低压侧投入分段备自投,高压侧投入进线备自投。X 发电

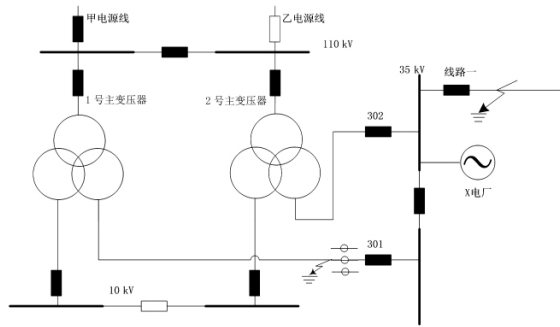


图1 某110 kV变电站运行方式
厂经35 kV母线发电上网。

3 保护配置及定值

35 kV 线路一(变比 600/5)配置三段式电流保护(ISA-367G),瞬时速断 3600 A,0 s;限时速断 1200 A,0.3 s;定时限过流 480 A,1 s,重合闸时限 2 s。1号主变压器配置差动保护(PCS-9671D-D)6I_e,比率差动 0.5(制动系数)。

4 故障过程分析

故障当日该站所在区域小雨,环境温度 13℃~22℃,无持续风向微风。故障发生时该站并无操作。

4.1 现场查勘情况

经现场运维人员停电检查发现 1号主变压器 35 kV 开关柜 B相 CT炸裂,C相有较轻微的放电痕迹。B相 CT灼烧炸裂痕迹如图 2。



图2 1号主变压器 35 kV 侧 B相 CT
进一步检查结果如下:

1) 如图 2,从 1号主变压器 35 kV 侧 B相 CT故障照片看,CT浇注工艺控制不当。CT内部存在多处气隙,且内部导体焊接处表面不光滑,未采取电场屏蔽处理措施,内部导体处附近的环氧树脂变色严重(图 2 中圆圈部分)疑似内部长期局部放电的结果。

2) 调取故障录波装置波形如图 3、图 4。图 3 中 A 点为 35 kV 某处疑似发生 B、C 相接地短路的时刻,B 点为线路一故障跳闸的时刻,C 点为 35 kV 某处发生 B、C 相间短路的时刻,在 D 点时发展为三相短路,E 点为 1号主变压器差动保护动作跳三侧开关时刻。图 3 中 F 点和图 4 中 T₃ 时刻为线路一重合时刻。

4.2 故障原因分析

根据故障时序及演变将故障过程划分成 5 个阶段分析^[7-10]。

1) 故障第 1 阶段:结合图 4、图 3 AB 段分析,35 kV 系统某处疑似发生 B、C 相接地短路时,两图电压波形一致(均采用母线 PT 电压),但故障电流不一致。35 kV 线路一仅 C 相有故障电流,但 1号主变压器 301 断路器有 B、C 相故障电流大小相等且方向相反,符合相间短路特征。

由于 35 kV 电网为中性点不接地系统,单相接地故障时不应有故障电流,可以推测系统发生了 B、C 相间故障。但故障电流没有流过线路一 B 相 CT,仅流过了线路一 C 相 CT。由此推测 C 相故障点在线路一断路器保护区内,B 相故障点在线路一断路器保护区外。

另外,系统仅有 A 相电压接近线电压,B 相电压几乎为 0,C 相接近相电压,推测系统近母线 D 处发生 B 相接地、同时系统远母线 P 处发生 C 相接地,即发生了不同地点两相接地故障。

① 计算母线至故障点线路阻抗

分析故障第 1 阶段双电源系统两点接地电流向示意如图 5,对该故障电流进行全电流建模如图 6。

将 1号变压器作为电源 \dot{E}_I ,X 电厂作为电源 \dot{E}_{II} 。为简化计算,假设两侧电势相等,即 $\dot{E}_I = \dot{E}_{II} = \dot{E}$;正、负序阻抗相等,即 $Z_1 = Z_2$;D、P 两点故障为金属性接地,过渡电阻为 0; R_p 为母线至故障点线路阻抗。由于故障电流远大于负荷电流,因此计算时忽略负荷电流的影响。

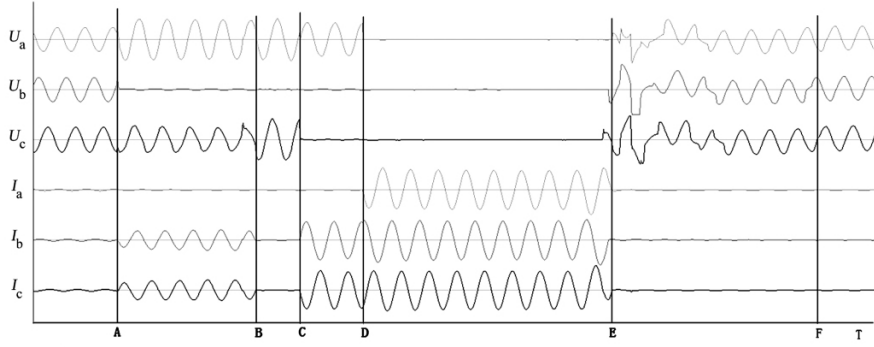


图3 1号主变压器中压侧开关电压、电流波形局部放大

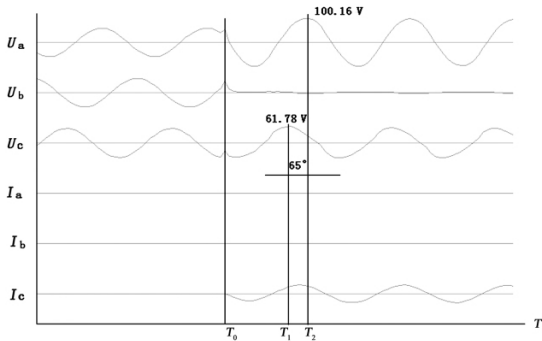


图4 35 kV 线路一开关保护装置故障录波

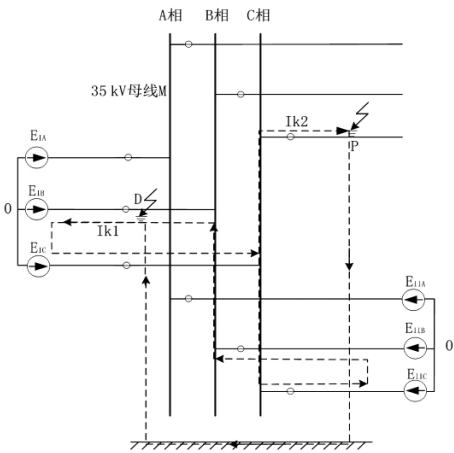


图5 双电源35 kV系统两点接地电流流向

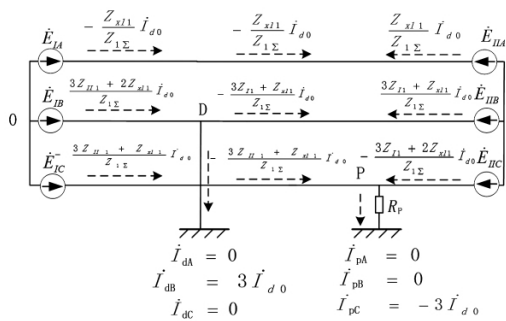


图6 双电源35 kV系统两点接地全电流分布
已知大系统供电至35 kV母线M阻抗为

$$Z_{II} = j0.19780 \quad (1)$$

X 电厂小系统阻抗为

$$Z_{II1} = j0.70053 \quad (2)$$

35 kV 母线 M 至 X 电厂母线正序阻抗为

$$Z_{x11} = j0.07535 \quad (3)$$

零序阻抗为

$$Z_{x10} = 3.5Z_{x11} \quad (4)$$

根据现场采集数据 将已知条件代入。用基准电流 I_j 代替 \dot{E}_c (\dot{E}_c 标么值取 $1 \angle 0^\circ$) 则通过 D 点零序电流有名值可以求出线路故障点 R_p 。另外，

$$\dot{I}_{pc} = -3\dot{I}_{d0} = 4008 \text{ A} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} Z_{1\Sigma} &= Z_{x11} + Z_{II1} + Z_{II1} \\ &= j0.19780 + j0.70053 + 0.07535 \\ &= j0.97368 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} Z_{II}Z_{x11} + Z_{II1}Z_{x11} + 3Z_{II1}Z_{II1} &= j0.1978 \times \\ & j0.07535 + j0.70053 \times j0.07535 + 3 \times \\ & j0.19780 \times j0.70053 = -0.483378 \end{aligned} \quad (7)$$

则根据公式^[11],

$$\begin{aligned} \dot{I}_{d0} &= -1336 \\ &= \frac{-j\sqrt{3}\dot{E}_c}{2 \frac{Z_{II1}Z_{x11} + Z_{II1}Z_{x11} + 3Z_{II1}Z_{II1}}{Z_{1\Sigma}} + Z_{x10} + 3(R_d + R_p)} \\ &= \frac{-j1.732 \times 1560}{2 \times \frac{-0.48338}{j0.97368} + j0.26373 + 3 \times R_p} \end{aligned} \quad (8)$$

所以计算得

$$R_p = j0.25526 \quad (9)$$

②通过计算电压验证计算结果

$$\begin{aligned} \dot{U}_{dA1} &= \dot{E}_{1A} - \dot{I}_{1A1}\dot{Z}_{II} = \dot{E}_{1A} - \frac{aZ_{x11} + j\sqrt{3}Z_{II1}}{Z_{1\Sigma}} \\ &= 0.77756 - j0.00655 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{dA2} &= 0 - \dot{I}_{1A2}\dot{Z}_{12} = -\frac{a^2Z_{x11} + j\sqrt{3}Z_{II1}}{Z_{1\Sigma}} \\ &= 0.22244 - j0.00655 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{d0} &= -a^2 E_{1A} + \frac{2Z_{x1} + 3Z_{11}}{Z_{1\Sigma}} Z_{11} \dot{I}_{d0} \\ &= 0.5 + j0.474\ 15 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{dA} &= \dot{U}_{dA1} + \dot{U}_{dA2} + \dot{U}_{dA0} = 1.5 + j0.461\ 05 \\ &= 1.569\ 26 \angle 17^\circ \end{aligned} \quad (13)$$

$$\dot{U}_{dB} = a^2 \dot{U}_{dA1} + a \dot{U}_{dA2} + \dot{U}_{dA0} = 0 \quad (14)$$

$$\dot{U}_{dC} = a \dot{U}_{dA1} + a^2 \dot{U}_{dA2} + \dot{U}_{dA0} = j0.961\ 43 \quad (15)$$

通过计算得出 A 相电压有效值为 1.569 26 倍基准电压, 换算成二次值为 90.66 V, 与图 4 中 T_2 时刻 U_a 读数 100.16 V 相差 9.48%。计算得出 C 相电压有效值为 0.961 43 倍基准电压, 换算成二次值为 55.54 V, 与图 4 中 T_1 时刻 U_c 读数 63.5 V 相差 12.53%。A、C 相电压计算值与采集值偏差均 10% 左右, 因此判定该次母线至故障点线路阻抗计算结果 R_p 有效。

③故障点距离测算

35 kV 线路—37 基杆塔共 7.62 km, 线路参数为: 1-9 基杆塔导线型号为 JL/G1A-120/25, 长 1.377 km; 9-17 基杆塔导线型号为 LGJ-95, 长 1.533 km; 17-37 基杆塔导线型号为 LGJ-35, 长 4.64 km。该线路并无实测阻抗参数, 经估算^[12] 全线阻抗 $Z_l = j0.429\ 28$ (忽略电阻)。

$$R_p / Z_l = \frac{j0.255\ 26}{j0.429\ 28} = 0.594\ 6 \quad (16)$$

通过式(16)估算故障点在线路中后段。计及计算过程中假设两点故障过渡电阻为 0 等简化处理, 且计算结果存在一定误差, 所以运行单位重点巡视了 17-25 基杆塔区段。经巡视发现 19-20 基杆塔间 C 相导线弧垂过大, 不满足安全距离, 极可能故障发生时对周边树枝放电接地。

2) 故障第 2 阶段: 图 3 B 点时刻, 35 kV 线路一跳闸; 图 3 BC 段故障电流消失, 电压电流呈现小电流接地系统单相接地典型特性。推测此时 35 kV 线路—上 C 相接地故障与系统隔离。

3) 故障第 3 阶段: 图 3 C 点时刻, 单相接地故障再次演变为同一地点两相接地短路故障, 如图 3 CD 段所示。

4) 故障第 4 阶段: 图 3 D 点时刻, 两相接地短路故障演变为三相接地短路, 如图 3 DE 段所示。图 3 的 E 点时刻主变压器差动保护动作, 切除 1 号主变压器三侧开关将故障点隔离。

5) 故障第 5 阶段: 图 3 中 E 点时刻故障点切除

后, 35 kV 系统电压受到扰动, 电压波形逐步恢复。图 3 F 点时刻线路一重合闸动作成功, 系统恢复到新的稳定状态。

4.3 结论

1 号主变压器 35 kV 开关柜 B 相 CT 浇注工艺控制不当是导致主变压器跳闸发生的主要原因, 该设备在 35 kV 线路—19-20 号杆塔段 C 相导线瞬时接地时, 发生了主绝缘击穿接地故障。系统形成了 B、C 相两点短路接地, 线路故障隔离后该故障点迅速演变为两相接地短路, 最后演变为三相接地短路故障。

5 结 语

规程规定, 对于小电流接地系统, 单相接地故障可以坚持运行 2 h 排查故障。此时非故障两相对地电压升高为线电压, 很可能在绝缘薄弱的某处发生绝缘击穿导致两点接地短路故障。通过故障案例分析, 针对小电流接地系统接地故障有如下结论和建议:

1) 对比两点接地短路和两相接地短路故障, 非故障相电压均接近线电压。前者故障点距母线越远故障相母线电压越高, 故障点距母线越近故障相母线电压越低。所提案例其中一个故障点在站内 CT 处, 所以该相母线电压接近于 0, 而后者则是故障两相母线电压一致。

2) 生产厂家应严格管控 CT 等设备生产过程质量, 尤其是绝缘处理工序等的质量控制。同时运行单位也应加强入网检测和对运行设备的巡检和试验, 防止互感器故障发展为电网事故。

3) 为了提高供电可靠性, 对于经过山区的线路运行单位应该定期组织巡视, 及时清理通道, 尽量减少接地故障发生和故障演变。

参考文献

[1] 赵冉, 谭伟璞, 杨以涵. 配电网中性点接地方式分析[J]. 电力系统保护与控制, 2007, 35(4): 22-26.
[2] 李润先. 中压电网系统接地实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
[3] 王苏, 曾铁军, 郑茂然. 中性点非有效接地电力系统异名相两点接地短路时的选择性跳闸决策[J]. 电网技术, 2010, 34(7): 195-199.

(下转第 21 页)

线 LGJ-95 的电阻率(0.38 Ω/m) 进行计算,对环路阻抗的计算带来一定误差;

3) 配电线路中,尤其是 10 kV 配电网,线损很大,不同型号导线衔接点很多,对环路阻抗的计算带来一定误差;

4) 终端设备 FTU 有其自身的采样精度,所设计系统的合解环潮流计算是基于 FTU 采集的馈线实时数据,对计算结果可能造成一定影响;

5) 在计算中采用了一定的负荷等效方法,并认为在合解环过程中系统负荷未发生较大变化,对合解环潮流计算带来一定的影响。

5 结 语

首先对配电网合解环操作决策分析的理论基础进行了研究,并对系统的运行状况、配电网自动化实施状况进行了深入分析,在此基础上研究和实现了基于现有智能配电网信息平台的合解环决策分析系统,下面将工作进行一定的总结:

1) 对配电网合解环操作进行网络模型、合环潮流的计算、解环潮流的计算等研究分析,并选择出适合实际系统设计和实时的算法,为系统的设计和开发提供了理论基础。

2) 对现有馈线终端 FTU 进行研究,分析其馈线分段开关负荷电流采集原理,并在此基础上完善 FTU 的现有功能,实现对合环点压差数据的测量及合环点相序的判断。

3) 通过对 110 kV 变电站内的 10 kV 馈线联络开关进行合解环计算分析,由潮流计算结果及设备

保护验证分析得出,可以进行此次不停电负荷转移合解环操作。以实例分析说明了所设计系统具有合解环决策分析的功能,具有工程实用价值。

结合现场的实际运行情况,系统的改进应该从负荷等效、算法优化两个方面着手。总体来说,所开发的基于现有智能配电网信息平台的合解环决策分析系统可以完成系统合解环决策分析,可以辅助系统调度人员进行合解环决策判断,指导正确的合解环操作,系统的设计、开发具有一定的工程实用价值。

参考文献

[1] 李乃湖,倪以信,孙舒捷,等. 智能电网及其关键技术综述[J]. 南方电网技术, 2010, 4(3): 1-7.

[2] 黄盛. 智能配电网通信业务需求分析及技术方案[J]. 电力系统通信, 2010, 31(6): 10-12.

[3] 陆一鸣,刘东,柳劲松,等. 智能配电网信息集成需求及模型分析[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(8): 1-4.

[4] 王伟灿,周昱甬. 电力系统合环电流的分析及控制对策[J]. 供用电, 2002, 19(4): 26-28.

[5] 孙宏斌,张伯明,相年德. 配电潮流前推回推法的收敛性研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(7): 26-29.

[6] 陈泉. 中小城市配网自动化系统的研究[D]. 济南: 山东大学, 2010.

[7] 刘健. 变结构耗散网络——配电自动化新算法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.

[8] 李苏苏. 基于配网潮流的合环电流分析与控制[D]. 北京: 华北电力大学, 2005.

作者简介:

崔景顺(1989), 硕士研究生、电气工程师,研究方向为输配电运检技术。(收稿日期: 2018-05-25)

(上接第 13 页)

[4] 赵晓东. 一起两点接地故障引起主变保护动作的分析[J]. 安徽电气工程职业技术学院学报, 2015, 20(1): 41-43.

[5] 张笑. 配电网短路故障计算方法研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2010.

[6] 付锦,丁蓝,张淦水. 区外异相接地故障引起主变差动保护动作的分析[J]. 电工技术, 2017(8): 70-72.

[7] 许彬. 基于 PSCAD 的 220 kV 线路开关雷击故障的电磁暂态分析[J]. 高压电器, 2017, 53(5): 116-120.

[8] 张登花,杜浩良,郭宇隼,等. 10 kV 复合故障分析[J]. 电工技术, 2015, 8(11): 10-11.

[9] 陈忠源,王延伟,孟杰,等. 电流互感器故障案例分析

及防范措施[J]. 变压器, 2017, 54(9): 76-79.

[10] 王绪昭. 一种小接地电网两点接地短路的微机测距算法[J]. 河北电力技术, 1987(6): 55-59.

[11] 崔家佩,孟庆炎,陈永芳,等. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

[12] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

作者简介:

朱凤娟(1987), 硕士、工程师,主要从事电力系统调控运行管理、继电保护整定计算等工作。

(收稿日期: 2018-06-27)