

一起接地距离保护误动事故的分析对策

承文新¹, 范春艳², 姚斌¹

(1. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085; 2. 水利部南京水利水文自动化研究所, 江苏 南京 210012)

摘要: 分析了一起高压线路出口发生单相接地故障导致相邻线路接地距离误动的事故, 其中非故障线路对侧变压器中性点不接地。通过理论分析并结合 EMTP 仿真给出了在这种情况下发生误动的原因和误动时候该线路的电气特征。针对误动线路的电气特征, 给出了防止接地距离在此情况下可能误动的两个对策, 并分析了两个对策的各自的特点。

关键词: 接地距离; 单相接地故障; 误动; EMTP 仿真

Analysis of mal-operation of ground-distance relaying

CHENG Wen-xing¹, FAN Chun-yan², YAO Bin¹

(1. Beijing Sifang Automation Co., Ltd, Beijing 100085, China; 2. Nanjing Automation Institute of Water Conservancy and Hydrology, Ministry of Water Resources, Nanjing 210012, China)

Abstract: This paper analyzes a mal-operation event of ground-distance relaying when ground fault occurs at adjacent line. It proposes the reasons of mal-operation through theory analysis and EMTP simulation and the electrical characteristics of this situation. According to the electrical characteristics, this paper presents two auxiliary methods to prevent mal-operation of ground-distance relaying.

Key words: ground-distance relaying; single-phase ground fault; mal-operation; EMTP

中图分类号: TM774

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2007)09-0075-04

0 引言

距离保护在高压及超高压输电电路上获得广泛的应用。接地距离继电器用于保护线路接地故障, 但在某些特殊运行方式下, 由于相邻线路的接地故障导致本线路的接地距离继电器误动。2006年8月, 某变电站就发生了一起这样的误动事故。当时, 误动线路对侧的变压器处于不接地运行状态。故障线路的近出口发生C相接地故障, 误动线路的接地距离I段误动跳闸。

1 分析

简化后的系统接线如图1所示。

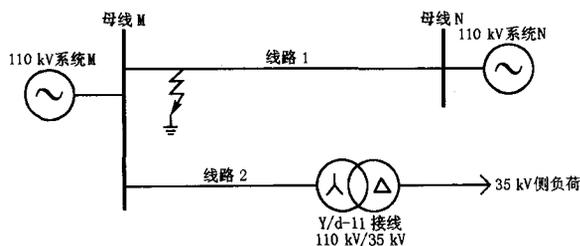


图1 简化的系统接线图

Fig.1 Simplified diagram of power system

1.1 电路分析

当线路1发生C相接地故障时, 如果忽略线路的对地电容, 零序电流为零。因此, 线路2及其联结的变压器和负荷可以简化为星形接线的阻抗, 从母线M看线路2的等效电路如图2所示。

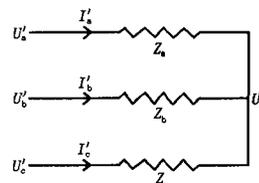


图2 从母线2看线路2的等效电路

Fig.2 Equivalent circuit of line 2 viewed from bus-bar M

U_n 节点电压方程为:

$$U_n \left(\frac{1}{Z_a} + \frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_c} \right) = \frac{U'_a}{Z_a} + \frac{U'_b}{Z_b} + \frac{U'_c}{Z_c}$$

由于 $Z_a = Z_b = Z_c$, 且健全相电压基本不变,

令 $U'_c = \bar{m}U_c$, 有 $U_n = \frac{m-1}{3}U_c$ 。显然图2所示电

路的零序电流为零，故障相 C 的电流为 $I'_c = \frac{U'_c - U_n}{Z_c} = \frac{2\bar{m}+1}{3} \times \frac{U_c}{Z_c}$ ，因此 C 相接地距离继电器感受到的阻抗为

$$Z'_c = \frac{U'_c}{I'_c + k \times 3I_0} = \frac{3\bar{m}}{2\bar{m}+1} Z_c。$$

对于单相接地故障，故障前后电压相位变化很小，因此可近似认为 m 为标量。故障前后测量阻抗的比值 Z'_c/Z_c 与 m 的函数关系曲线如图 3 所示。

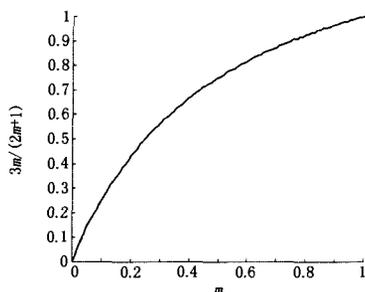


图 3 Z'/Z_c 与 m 关系曲线
Fig.3 Function Z'/Z_c of m

显然， m 值越小， Z'_c/Z_c 的值越小。由于故障前后 C 相电压的相位基本不变，如果故障前的测量阻抗 Z_c 位于第一象限，则故障点距离母线越近 m 值就越小，非故障线路的接地距离越容易误动。由于本次事故的距离元件采用多边形特性，虽然该元件有很好的抗过渡电阻能力，但在此特殊情况下，也更容易造成接地距离元件误动。

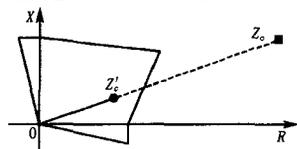


图 4 接地距离元件误动示意图

Fig.4 Graphic of mal-operation of ground-distance relaying

通过图 4，也可以直观地看到导致接地距离误动的几个必要条件：

- 1) 故障点：距离母线的距离比较近；
- 2) 故障前阻抗：位于第一象限且接近 R 轴；
- 3) 距离元件有较强的抗过渡电阻能力。

故障后，健全相 A 的电流

$$I'_a = \frac{U'_a - U_n}{Z_a} = I_a \left(1 + \frac{1-m}{3} e^{j\frac{2\pi}{3}} \right)，其幅值略$$

小于故障前电流的幅值。因此，A 相感受到的阻抗会大于故障前阻抗，A 相接地距离元件不会误动。同理，B 相接地距离元件也不会误动。

图 5 和图 6 是电压、电流的现场录波波形。故障后，健全相 A 和 B 的电压基本不变，而 A 相和 B 相的电流略有降低。C 相电压降幅很大，C 相电流降幅不如电压降幅大。现场录波波形特征与理论分析相吻合。

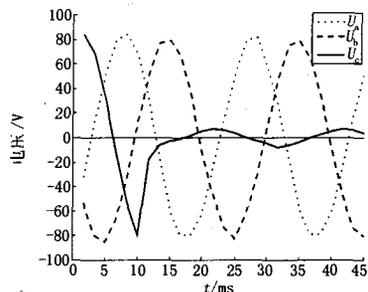


图 5 现场录波电压波形
Fig.5 Voltage of field record

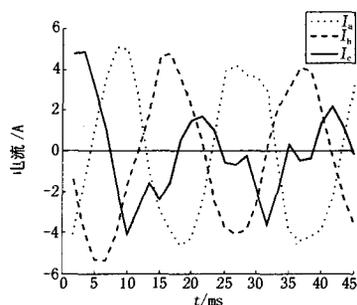


图 6 现场录波电流波形
Fig.6 Current of field record

1.2 序分量分析

下面，从序分量的角度，给出更进一步的理论分析结果。

当线路 1 发生 C 相接地故障时，母线上会出现零序电压，但由于线路 2 的对侧并无零序流通的通路，因此零序电压不会在线路 2 上产生相应的零序电流。

$$Z'_c = \frac{U'_c}{I'_c + k \times 3I_0} = \frac{U'_{c1} + U'_{c2} + U'_0}{I'_c}$$

$$Z'_c = Z_1 + \frac{U'_0}{I'_c}$$

正是由于 U'_0 的存在，才导致故障后的测量阻抗不等于故障前的阻抗。因此有了导致线路 2 的接地距离发生误动的可能。图 1 系统的零序网络如图 7 所示。

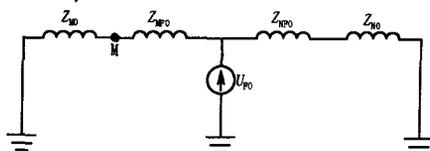


图 7 零序网图

Fig.7 Diagram of zero-sequence network

$$\text{母线 M 的零序电压为 } U'_0 = \frac{Z_{M0}}{Z_{M0} + Z_{FM0}} U_{F0}。$$

显然, M 侧系统零序阻抗 Z_{M0} 越大, 保护越容易误动; 故障点距离母线 M 越近 (Z_{FM0} 越小), 保护越容易误动。

2 仿真

以上分析均未考虑线路分布电容的影响, 如果计及分布电容的影响则零序电压会通过分布电容形成零序电流, 对上述分析结果造成一定的影响, 但考虑到分布电容一般都很小, 通过分布电容流过的零序电流很小, 因此造成的影响基本可以忽略。下面结合 PSCAD 的电磁仿真结果对上述分析作以验证。

PSCAD 仿真图 1 系统参数如下:

$$110 \text{ kV 系统 M 的 } Z_{M1} = (0.68 + j34.56) \Omega,$$

$$Z_{M0} = j28.27 \Omega。$$

$$110 \text{ kV 系统 N 的 } Z_{N1} = j31.4 \Omega,$$

$$Z_{N0} = j34.1 \Omega。$$

线路 1 全长 60 km, 线路 2 全长 50 km。

$$Z_1 = (0.17 + j0.44) \Omega/\text{km},$$

$$Z_0 = (0.23 + j0.865) \Omega/\text{km},$$

$$C_1 = 0.0084 \mu\text{F}/\text{km}, C_0 = 0.00615 \mu\text{F}/\text{km}。$$

变压器 35 kV 侧带负荷

$$S = (18.0 + j6.0) \text{ MVA}。$$

在线路 1 出口 1 km 发生 C 相接地故障, 电压和电流波形如图 8、图 9 所示。

可见, PSCAD 仿真结果和实际的录波波形非常接近。

故障前, 线路 2 测得的阻抗为 $13.71 + j6.04 = 14.98 \angle 23.78^\circ$ 。

在 110 kV 系统的阻抗不变的情况下, 改变故障点距离母线 M 的距离进行仿真计算。表 1 是在不同接地点, 线路 2 保护感受到的 C 相接地阻抗。

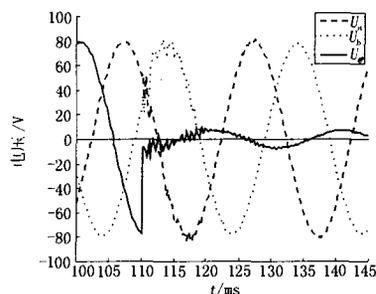


图 8 仿真结果电压波形

Fig.8 Voltage of simulation

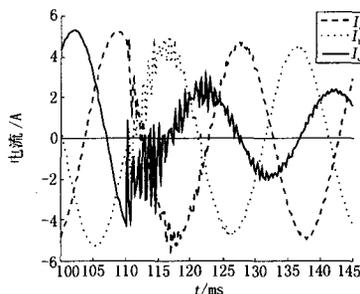


图 9 仿真结果电流波形

Fig.9 Current of simulation

从表 1 可以看到, 故障点距离母线 M 越近, 线路 2 的接地距离越容易误动。故障后阻抗的相角与故障前阻抗的相角相差不多。

在故障点距离母线 M 的距离为 10 km 的情况下, 改变 110 kV 系统 M 的零序阻抗进行仿真计算。表 2 是在不同零序阻抗下, 线路 2 感受到的接地阻抗。

表 1 不同故障点情况下线路 2 的接地阻抗

Tab.1 Ground impedance of line 2 for specified location

线路 1 故障点	1 km	5 km	10 km	20 km
线路 2 接地阻抗	$3.39 \angle 20.73^\circ$	$3.55 \angle 10.71^\circ$	$5.54 \angle 12.18^\circ$	$8.18 \angle 15.02^\circ$
线路 1 故障点	30 km	40 km	50 km	60 km
线路 2 接地阻抗	$9.73 \angle 16.67^\circ$	$10.77 \angle 17.80^\circ$	$11.53 \angle 18.61^\circ$	$12.09 \angle 19.21^\circ$

表 2 不同零序阻抗情况下线路 2 的接地阻抗

Tab.2 Ground impedance of line 2 for specified zero-sequence impedance

系统 M 的 Z_{00}	1	5	10	20
线路 2 接地阻抗	$14.04 \angle 22.72^\circ$	$11.28 \angle 19.48^\circ$	$9.10 \angle 16.86^\circ$	$6.67 \angle 13.79^\circ$
系统 M 的 Z_{00}	30	45	60	∞
线路 2 接地阻抗	$5.37 \angle 11.94^\circ$	$4.24 \angle 10.09^\circ$	$3.58 \angle 8.82^\circ$	$1.00 \angle -3.26^\circ$

从表 2 可以看出, 系统 M 的零序阻抗越大, 线路 2 的接地距离越容易误动。故障后阻抗的相角与故障前阻抗的相角相差不多。极端情况下, 当 $Z_{M0} = \infty$ 时, 系统 M 成为中性点不接地系统, 接地距离感受的阻抗最小。

仿真结果证明了理论分析的正确性。

3 对策

针对接地距离继电器误动的原因和误动时候所具有的电气量特征, 可以采用如下两个方法避免误动:

1) 相邻线路发生接地故障时, 本线路对侧中性点不接地。利用这个特征, 可以采用零序电流闭锁, 即当零序电流较小的时候闭锁接地距离元件。该方法需要考虑如下问题: ①若选取固定门槛, 零序电流的门槛应该如何选取? ②对于电缆线路或长距离的架空线路, 对地电容较大, 相邻线路发生接地故障时本线路的零序电流较大, 若超过门槛值, 同样可能导致接地距离元件误动。

2) 发生单相接地故障的时候, 故障线路的故障相电流一定会增大。而对于非故障线路, 由前面的理论分析和仿真可知, 非故障线路的三相电流都会减少 (对于两相接地故障, 该结论依然成立, 篇幅所限读者可自行证明), 且故障相的同名相电流减少会较多。因此可以通过判定保护启动后一周波电流幅值是否减少来闭锁接地距离, 避免接地距离误动。

方法 2 与方法 1 相比, 只比较保护启动前后电流幅值是否增大, 更容易实现。因此, 建议采用方法 2 避免接地距离误动。

(上接第 69 页 continued from page 69)

“远方启信”功能投、退选择上需改变高频收发信机装置定值设置内控制字 (如 PSF631), 但此定值又未纳入保护定值管理, 由现场根据需要设置。因此, 接口方式变化后, 在调度部门要求检查高频通道前, 需现场对此设置进行更改, 同时必须做好更改前原设置记录, 以便接口方式恢复后及时恢复设置。

4) 由于接口方式发生变化后, 在高频收发信机未进行相应设置的情况下, 将带有缺陷的保护投入工作或在检查高频通道时才发现异常的情况时有发生, 建议调度部门对相关设置及操作纳入管理, 加强监督。

4 结束语

旁路、线路保护为不同的接口方式存在于各 220 kV 变电站内, 本文就继电保护与高频收发信机

4 结语

本文针对一起接地距离保护误动的事故, 对误动的原因进行了详尽的理论分析, 并用 EMTP 仿真进行验证。并给出了导致接地距离误动的几个影响因素和该情况下的电气特征, 针对电气特征给出了避免接地距离保护误动的辅助闭锁判据。

参考文献

- [1] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
WANG Mei-yi. Application of Power System Protective Relay[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.
- [2] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术 (第三版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
ZHU Sheng-shi. Principle and Technology of High-voltage Power System Protective Relay, the Third Edition[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [3] 李晓明. 现代高压电网继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
LI Xiao-ming. Theory of Relay Protection of Modern HV Transmission System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

收稿日期: 2006-10-11; 修回日期: 2006-11-23

作者简介:

承文新 (1969-), 男, 高级工程师, 主要从事继电保护方面的工作;

范春艳 (1981-) 女, 助工, 主要从事水电自动化、继电保护方面的工作;

姚斌 (1977-), 男, 硕士, 主要从事电力系统故障分析, 微机继电保护算法研究和装置开发工作。Email: yaobin@sf-auto.com

不同接口方式的现场接线以及两种接口方式的产生根源作了阐述; 对旁路代供线路时, 在接口方式发生改变后, 对现场运行中的注意事项、如何解决问题作了探讨。

参考文献

- [1] DL/T 584-95, 3-110 kV 电网继电保护装置运行整定规程[S].
DL/T 584-95, 3-110 kV Operation Condition and Setting Regulation for Protective in Power Supply Network[S].
- [2] 中国南方电网公司十项重点反事故措施[Z].
Ten Emphasis Measures Against Accident for China Southern Power Grid[Z].

收稿日期: 2006-09-08; 修回日期: 2006-12-12

作者简介:

柏兴山 (1975-), 男, 大专, 从事继电保护的现场检修、调试工作。E-mail: bdgsbxs@163.com