

# 小电流接地系统距离继电器动作行为分析

李瑞生<sup>1</sup>, 任志航<sup>1</sup>, 王清建<sup>2</sup>, 姚晴林<sup>3</sup>

(1. 许继电气保护及自动化事业部,河南 许昌 461000; 2. 邓州市电业局,河南 邓州 474150; 3. 合肥工业大学,安徽 合肥 230009)

**摘要:** 在小电流接地系统中不同地点发生两点接地故障时,采用两相星型接线方式的过电流保护在串联线路有 2/3 机会选择性切除后面一条线路,在并联线路有 2/3 机会选择性切除一条线路,而三相星型接线方式的过电流保护非选择性动作的几率比两相星型接线更大。如何提高小电流接地系统两点接地时保护动作的选择性一直是继保领域中的一个课题,论述了小电流接地系统串联线路及并联线路发生两点接地时,通过零序电流启动的接地距离保护与相间距离保护的动作为及两者之间的配合,得出串联线路两点接地时,能 100%地保证只切除后边的一条线路,而并联线路两点接地时,只切除一条线路的几率也很大。

**关键词:** 线路保护; 小电流接地系统; 距离保护

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2004)15-0023-03

## 0 引言

小电流接地系统是指变压器中性点不接地或经消弧线圈接地的系统,也包括发电机中性点不接地或经消弧线圈接地、经配电变压器接地、经电压互感器接地的系统。在小电流接地系统中不同地点发生两点接地故障时,采用两相星型接线方式的过电流保护在串联线路有 2/3 机会选择性切除后面一条线路,在并联线路有 2/3 机会选择性切除一条线路,而三相星型接线方式的过电流保护非选择性动作的几率比两相星型者更大<sup>[1]</sup>。如何提高小电流接地系统两点接地时保护动作的选择性一直是继保领域中的一个课题,根据小电流接地系统异地两点接地电气量特点,有零序电流视为异地两点接地的特征,采用零序电流启动的接地距离保护,在串联线路两点接地时,能 100%地保证只切除后边的一条线路,即 100%地保证了动作的选择性;而并联线路两点接地时,只切除一条线路的几率也很大。采用相间距离保护可靠切除相间故障,在异地两点接地时,相间距离保护不动作,与采用零序电流启动的接地距离保护有效配合。

## 1 小电流接地系统单相接地

小电流接地系统发生单相接地(如 A 相),如图 1 所示。发生在  $dA$ 。接地点电压  $U_{Ad} = 0$ ,输电线路上的零序电流极小  $3I_0 \approx 0$ (只为电容电流),无短路电流,保护安装点的母线电压  $U_{AN} = 0$ ,则保护的测量阻抗  $Z_{AN} = 0$ ,接地距离误动。

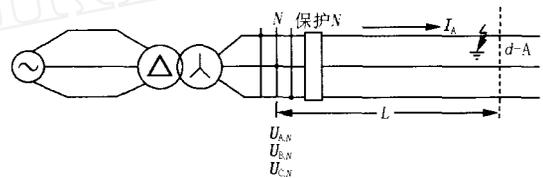


图 1 小电流接地系统单相接地网络图

Fig. 1 Single short circuit in non solid earthed power systems

## 2 小电流接地系统串联线路异地两点接地

以单侧电源辐射型网络串联线路两点接地为例,见图 2 所示发生在  $dA$ 、 $dB$  异地两点接地故障。由电流分布可知:保护 M 仅有一相电流  $I_A$ ,保护 N 有两相电流  $I_A$ 、 $I_B$  且  $I_A = -I_B$ ,线路 L 及 L' 有零序电流流过,线路 L'' 无零序电流流过,保护 M 有零序电流  $3I_0 = I_A$ ,保护 N 无零序电流。

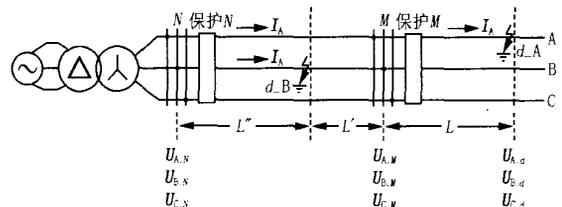


图 2 小电流接地系统串联线路异地两点接地网络图

Fig. 2 Series line with different short circuits in non solid earthed power systems

### 2.1 接地距离保护

保护安装点 M 处 A 相电压:

$$U_{AM} = Z_1 L (I_A + k3 I_0) \quad (1)$$

式中： $k = (Z_0 - Z_1) / 3 Z_1$  为零序补偿系数； $Z_0, Z_1$  为被保护线路单位长度的零序阻抗、正序阻抗； $L$  为故障点到保护安装处的距离； $M$  处 A 相接地距离继电器的测量阻抗为：

$$Z_{AM} = U_{AM} / (I_A + k3 I_0) = Z_1 L \quad (2)$$

可见  $Z_{AM}$  能正确反映接地点  $dA$  至保护  $M$  安装处之间的距离。

### 2.2 相间距离保护

保护安装点  $N$  处 AB 相电压：

$$U_{AB} = U_{AN} - U_{BN} = Z_1 (L + L') (I_A + k3 I_0) + Z_1 L' I_A$$

$$Z_1 L' I_B = Z_1 (L + L') (1 + k) I_A + 2 Z_1 L' I_A$$

$N$  处 AB 相间距离继电器的测量阻抗为：

$$Z_{AB} = U_{AB} / I_{AB} = U_{AB} / (I_A - I_B) = U_{AB} / 2 I_A = Z_1 (L + L') (1 + k) / 2 + Z_1 L' \quad (3)$$

对无架空线路， $Z_0 = 3.5 Z_1, k = 0.83$ ，代入式 (3)

$$Z_{AB} = 0.915 Z_1 (L + L') + Z_1 L' \quad (4)$$

对有架空线路， $Z_0 = 2 Z_1, k = 0.33$ ，代入式 (3)

$$Z_{AB} = 0.67 Z_1 (L + L') + Z_1 L' \quad (5)$$

测量阻抗  $Z_{AB}$  的值接近较远的那个接地点至保护安装点的线路阻抗。

### 2.3 小电流接地系统串联线路异地两点接地距离保护动作行为

小电流接地系统采用零序电流起动投入接地距离保护，保护  $M$  检测到的  $3 I_0 = I_A$  为短路电流，其值很大。其启动元件  $3 I_0 > I_{SET}$  动作，若  $dA$  接地点位于保护  $M$  范围内，接地距离元件动作；而保护  $N$  检测到的  $3 I_0 = I_A - I_B = I_A - I_A = 0$ ，其启动元件不动作，接地距离元件不动作，保证了动作的选择性。

小电流接地系统的接地距离保护必需装设零序电流的启动元件，无零序电流启动元件，保护可能发生误动作。前面已分析在小电流接地系统发生单相接地故障时，无零序电流，保护的测量阻抗为零，接地距离误动。

保护  $N$  的相间距离保护虽起动，但测量阻抗  $Z_{AB}$  的值接近较远的那个接地点至保护安装点的线路阻抗，因延时长不会出口，保证了小电流接地系统带着一个接地点照常运行，保证了两点接地故障时保护动作 100% 的选择性。只有当保护  $M$  的接地距离保护本身出现故障而拒动或断路器拒动时，保护  $N$  的相间距离保护出口才动作，这就是在串联线路两点接地时保护  $N$  的相间距离保护是保护  $M$  接地距离保护的后备保护。

### 3 小电流接地系统并联线路两点接地

小电流接地系统并联线路两点接地，见图 3 所示，保护  $M$  及保护  $N$  在  $dA, dB$  两点发生接地故障。由电流分布可知：保护  $M$  有一相电流  $I_A$ ，零序电流  $3 I_0 = I_A$ ，保护  $N$  有一相电流  $I_B$ ，零序电流  $3 I_0 = I_B$ ，且  $I_A = - I_B$ 。

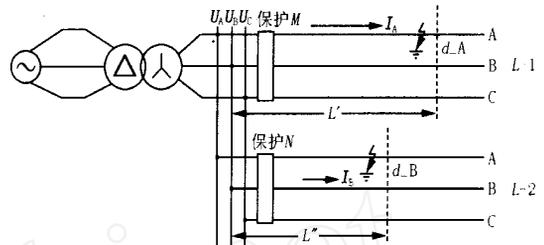


图 3 小电流接地系统并联线路两点接地网络图

Fig. 3 Parallel line with different short circuits in non-solid earthed power systems

#### 3.1 接地距离保护

保护  $M$  测量到的零序电流  $3 I_{0A} = I_A$ ，保护  $N$  测量到的零序电流  $3 I_{0B} = I_B$  为短路电流，推导同 2.1 得出： $Z_{AM} = Z_1 L$ ， $Z_{BN} = Z_1 L$ 。 $Z_{AM}$  能正确反映接地点  $dA$  至保护  $M$  安装处之间的距离； $Z_{BN}$  能正确反映接地点  $dB$  至保护  $N$  安装处之间的距离。

#### 3.2 相间距离保护

保护安装点  $M$  处 AB 相电压：

$$U_{AB} = U_{AN} - U_{BN} = Z_1 L (I_A + k3 I_{0A}) - Z_1 L (I_B + k3 I_{0B}) = Z_1 (L + L') (1 + k) I_A \quad (6)$$

保护安装点  $M$  处 AB 阻抗：

$$Z_{AB} = U_{AB} / I_{AB} = U_{AB} / (I_A - I_B) = U_{AB} / I_A = Z_1 (L + L') (1 + k) \quad (7)$$

对无架空线路， $Z_0 = 3.5 Z_1, k = 0.83$ ，代入式 (6)

$$Z_{AB} = 1.83 Z_1 (L + L') \quad (8)$$

对有架空线路， $Z_0 = 2 Z_1, k = 0.33$ ，代入式 (3)

$$Z_{AB} = 1.33 Z_1 (L + L') \quad (9)$$

保护安装点  $N$  处 AB 阻抗与保护安装点  $M$  处 AB 阻抗相同。

#### 3.3 小电流接地系统并联线路两点接地保护动作行为

小电流接地系统并联线路两点接地，保护  $M$  及保护  $N$  的接地距离保护的启动元件  $3 I_0 > I_{SET}$  均动作。保护  $M$  的 A 相接地距离元件正确反映接地点  $dA$  至保护安装点之间的距离；保护  $N$  的 B 相接地

距离元件正确反映接地点  $d_B$  至保护安装点之间的距离。如果  $d_A$  点位于保护  $M$  接地距离保护 I 段范围内,  $d_B$  点也恰好位于保护  $N$  接地距离保护 I 段范围内, 则保护  $M$  及保护  $N$  同时出口, 此为非选择性动作。如果  $d_A$ 、 $d_B$  两点分别位于保护  $M$ 、保护  $N$  接地距离保护的不同段内, 则一个保护先跳, 切除一个接地点, 另一个保护返回不跳闸, 小电流接地系统带着一个接地点继续运行, 此为有选择性动作。

小电流接地系统并联线路发生两点接地时, 存在接地点的两个线路相间距离保护的测量阻抗相等, 无架空线路  $Z_{AB} = 1.83 Z_1 (L + L)$ ; 架空线路  $Z_{AB} = 1.33 Z_1 (L + L)$ , 大约等于两个接地点各自与保护安装点之间阻抗之和的 1.8 倍(或 1.33 倍), 通常此测量阻抗很大, 不会引起相间距离保护跳闸。若两个短路点据母线很近, 即  $L + L$  很小, 在相间距离保护的 I 段范围内, 相间距离动作。对零序电流启动的接地距离保护, 假若两个接地点恰好都位于两条并联线路接地距离保护的 I 段内, 则两个保护都快速动作切除两条线路, 此为非选择性跳闸。假若两个接地点位于两条并联线路接地距离保护的不同段内, 则只会切除一条线路, 此为选择性跳闸。切除离母线较近的那个接地点, 小电流接地系统带着离母线较远的那个接地点继续运行。为保证小电流接地系统并联线路发生两点接地时的选择性, 可采用在保护中预先设定跳开故障线的顺序的方法<sup>[2]</sup>, 顺序按故障相别设定, 如设定  $A \rightarrow B \rightarrow C$  或  $B \rightarrow C \rightarrow A$  或  $C \rightarrow A \rightarrow B$  等, 若设定为  $A \rightarrow B \rightarrow C$ , 故障相为 A 的线路最先跳闸, 其次为故障相为 B 的线路, 最后为故障相为 C 的线路。

#### 4 与两相星型接线方式的过电流保护选择性对比

小电流接地系统中发生单相接地时, 由于故障点的电流很小, 而且三相之间的线电压仍然保持对称, 对负荷的供电没有影响, 允许继续运行 1~2 h, 而不必立即跳闸, 由接地选线装置选出接地线路, 由运行人员采取措施消除故障。图 2 所示的串联线路异地两点接地, 采用两相星型接线方式的过电流保护有 2/3 机会由保护  $M$  选择性地切除后面一条线路, 保证线路  $N$  在单相接地时继续短时间运行, 另有 1/3 机会由保护  $N$  无选择性地切除前面一条线

路, 扩大了停电范围。采用零序电流启动投入接地距离保护, 100% 的由保护  $M$  选择性地切除后面一条线路。保护  $N$  的相间距离保护不动作, 可作为保护  $M$  接地距离保护的后备保护。图 3 所示的并联线路异地两点接地, 采用两相星型接线方式的过电流保护有 2/3 机会由保护  $M$  或保护  $N$  选择性地切除一条线路, 保证另一条线路在单相接地时继续短时间运行, 另有 1/3 机会由保护  $M$  或保护  $N$  无选择性地切除两条线路, 扩大了停电范围。采用零序电流启动投入接地距离保护, 假若两个接地点位于两条并联线路接地距离保护的不同段内, 则只会切除一条线路, 增加预先设定跳开故障线的顺序的方法, 100% 机会由保护  $M$  或保护  $N$  选择性地切除一条线路。保护  $N$  或保护  $M$  相间距离保护动作行为由异地两点接地距离之和即  $L + L$  大小决定。

#### 5 结语

小电流接地系统串联线路及并联线路发生两点接地时, 零序电流启动的接地距离保护与相间距离保护互相配合, 得出串联线路两点接地时, 能 100% 地保证只切除后边的一条线路, 并联线路两点接地时, 只切除一条线路的几率也很大。

#### 参考文献:

- [1] 贺家李, 宋从矩(HE Jia-li, SONG Cong-ju). 电力系统继电保护原理(Principle of Relay Protection in Power System) [M]. 北京: 水利电力出版社(Beijing: Hydraulic and Electric Power Press), 1985. 22-25.
- [2] 许正亚(XU Zheng-ya). 输电线路新型距离保护(New Type of Distance Protection in Power Transmission Line) [M]. 北京: 中国水利水电出版社(Beijing: China Hydraulic and Electric Power Press), 2002. 120-124.

收稿日期: 2003-11-19; 修回日期: 2004-02-17

#### 作者简介:

李瑞生(1966-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事继电保护方面的研究; E-mail: ruishengl@xjgc.com

任志航(1973-), 男, 工程师, 从事继电保护方面的研究;

王清建(1963-), 男, 本科, 工程师, 从事电力系统生产运行;

姚晴林(1931-), 男, 教授, 从事继电保护自动化的研究。

(下转第 51 页 continued on page 51)

3) 能对输电网络图方便地进行编辑,即具有修改、增加、删除等功能。

4) 在输电网络图和主接线图上查询设备的一次、二次参数,并能将查询的结果打印输出。

5) 通过 SQL 实现与大型数据库的连接。

6) 在输电网络图和主接线图上显示必要的 EMS 系统的实时信息,并能对一些信息实现可视化显示及对电网断面潮流和稳定极限的监视。

7) 显示电网的自动装置配置图及相关参数。

在系统测试中,上述系统功能得到较好的实现,其与数据库的连通率被证实是可靠的,实时数据的刷新速度与 EMS 同步,提高了电网运行的管理水平。

#### 参考文献:

- [1] Clarke L. Integrating GIS with High Performance SCADA [A]. Power Engineering Society Summer Meeting. 2001. 2: 844.
- [2] ESRI Shapefile Technical Description[Z]. An ESRI White Paper, 1998.

[3] 成红琼,朱建,等(CHENG Hong-qiong, ZHU Jian, et al). GIS 与 SCADA 一体化系统实践(Practice on Integral System of GIS and SCADA System) [J]. 电力自动化设备(Electric Power Automation Equipment), 2002, 22(11): 56-57.

[4] 樊红,詹小国(FAN Hong, ZHAN Xiao-guo). ARC/INFO 应用与开发技术(Application and Development Technology of ARC/INFO) [M]. 武汉:武汉大学出版社(Wuhan: Wuhan University Press), 2002. 18-19.

[5] 张慎明,刘国定(ZHANG Shen-ming, LIU Guo-ding). IEC61970 标准系列简介(Introduction of Standard IEC61970) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(14): 1-6.

收稿日期: 2003-11-25; 修回日期: 2004-01-03

作者简介:

徐奇锋(1980-),男,硕士研究生,研究方向为地理信息系统在电力系统中的应用; E-mail: minaji@zju.edu.cn

邱家驹(1944-),男,教授,博导,从事电力系统运行和控制方面的研究和教学工作;

王康元(1973-),男,讲师,从事电力系统自动化和信息化方面的研究和教学工作。

### Research on GIS based online power system transmission parameter visible management system on UNIX

XU Qi-feng<sup>1</sup>, QIU Jia-ju<sup>1</sup>, WANG Kang-yuan<sup>1</sup>, FAN Dou<sup>2</sup>

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Henan Electric Power Dispatching and Communication Center, Zhengzhou 540052, China)

**Abstract:** A method of GIS based online power system transmission parameter visible management system on UNIX is introduced. This parameter management system is developed by AML (arc macro language) on the GIS (geography information system) platform ARC/INFO of ESRI. In this system, online display of the power system transmission parameter is achieved by integrating GIS with EMS (energy management system), and a CIM (common information model) based database is also established.

**Key words:** GIS; power system transmission parameter management system; visualization; CIM

(上接第 25 页 continued from page 25)

### Analyzing the operation of distance protection in non-solid earthed power systems

LI Rui-sheng<sup>1</sup>, REN Zhi-hang<sup>1</sup>, WANG Qing-jian<sup>2</sup>, YAO Qing-lin<sup>3</sup>

(1. Protection and Automation Business Department, XI Electric Corporation, Xuchang 461000, China;

2. Dengzhou Power Bureau, Dengzhou 474150, China; 3. Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** When two-point earthed faults occur in different spots of non-solid earthed power systems, overcurrent protection with two-phase Y connection mode will selectively cut off the next line with the chances of 2/3 in series circuit. And with the same chances, it will cut off a line selectively in parallel circuit. Moreover, the chances of non-selective operation for the protection with three-phase Y connection mode will be larger than that of two-phase one. To improve the selectivity of two-point earthed fault, the cooperation and operation mode between earthed and interphase distance protection enabled by zero sequence current are described in series and parallel circuit respectively. The results verify the betterment of the line cutting in series (up to 100%) and parallel circuit.

**Key words:** line protection; non-solid earthed power systems; distance protection