

小电流接地电网复杂接地故障保护动作特性分析

鲍有理¹, 季东方²

(1. 无锡供电公司, 江苏 无锡 214061; 2. 国电南自股份有限公司, 江苏 南京 211100)

摘要:小电流接地系统单相接地故障引发不同线路异名相两点接地故障问题大量存在。经消弧线圈接地系统异名相两点接地故障时, 由于中性点电流不平衡注入的影响, 两故障线路异名故障相电流存在偏差, 保护无法准确跳开 2 条故障线。文章基于电路叠加定理, 从理论上推导了偏差计算公式及产生原因, 结合现场录波波形, 从理论上分析验证了 35 kV 线路保护的正确动作行为。进一步扩展分析了其他中性点接地方式, 发生异地异名相接地故障时, 故障定位及保护动作行为判别时应注意的问题, 为异名相异地两点接地故障的保护动作行为分析提供经验参考。

关键词:小电流接地系统; 消弧线圈; 线路保护

中图分类号: TM77

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2015)04-0017-03

为了提高供电可靠性, 在我国 3~66 kV 中低压配电网广泛采用中性点非有效接地系统^[1-3]。中性点非有效接地系统单相接地故障时, 由于线电压不变, 可以持续运行 2 小时。同时, 非故障相电压升高对线缆绝缘产生破坏, 时常会造成新的接地点, 形成不同线路异名相两点接地故障^[4]。此类复杂短路故障由于故障量众多, 往往会出现一些原因不明的动作行为^[5,6]。本文分析了中性点经消弧线圈接地系统, 发生 35 kV 不同线路异地不同名相两点接地的复杂短路故障。现场初步分析以为保护拒动, 事后通过实际故障录波图形及理论分析, 双向验证了保护动作行为完全正确。进一步文章扩展分析了其他小电流系统中性点接地方式时, 保护的動作行为及故障量特征, 同时阐述了故障分析的方法及故障定位注意事项。

1 故障情况介绍

某 220 kV 变电站 35 kV 部分, 中性点采用经过消弧线圈接地方式, I、II 线均配置有典型 35 kV 出线三段式过电流保护, 两线的电流互感器(TA)变比均为 600/5, 具体变电站保护配置及接线图如图 1 所示。

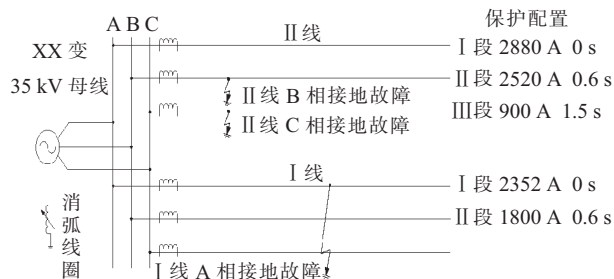


图1 变电站保护配置及接线图

(1) 故障过程: 初期 I 线 A 相接地故障, 此时可运行 2 小时。由于 B 相、C 相电压的升高, II 线绝缘水平下降, 发生 C 相接地故障。此时发生不同线路异名

相两点接地故障, 第一次只有 I 线保护 A 相动作跳闸。此过程结束后, 系统又转化为 II 线的 C 相单相接地状态, 故障电流骤减。一分钟后, II 线的 B 相被击穿造成 II 线 BC 相间故障(真正的相间故障)引发 II 开关保护跳闸。

(2) 保护动作情况:

第一次故障, 05:14, 35 kV I、II 两线异名相故障。I 开关保护动作跳闸, 但 II 开关保护仅启动却未动作跳闸;

第二次故障, 05:15, 35 kV II 线相间故障, 保护动作跳闸。

为了更好地说明故障发展历程, 做出保护动作时序, 如图 2 所示。

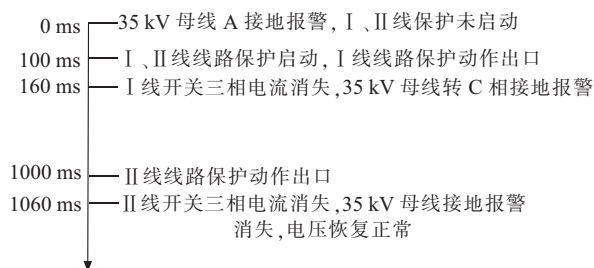


图2 保护动作时序图

故障电流录波记录如图 3—5 所示。

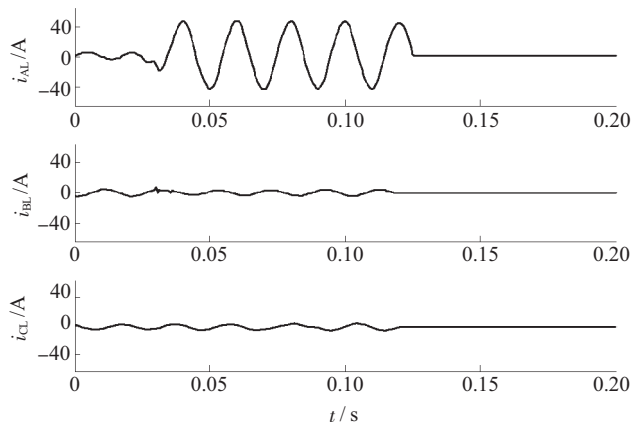


图3 I线的故障波形

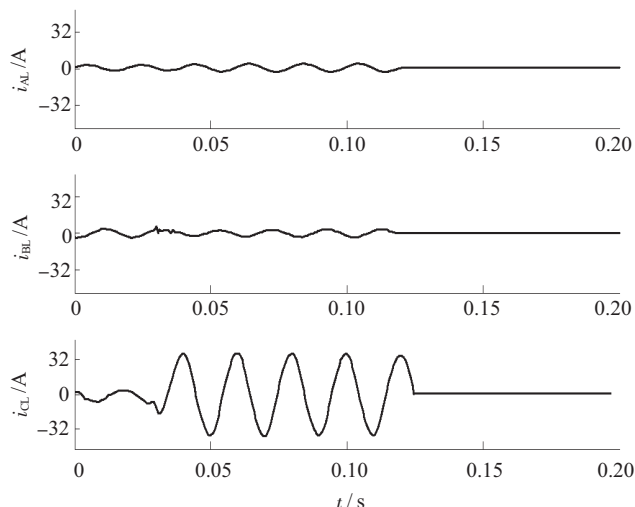


图4 II线的故障波形

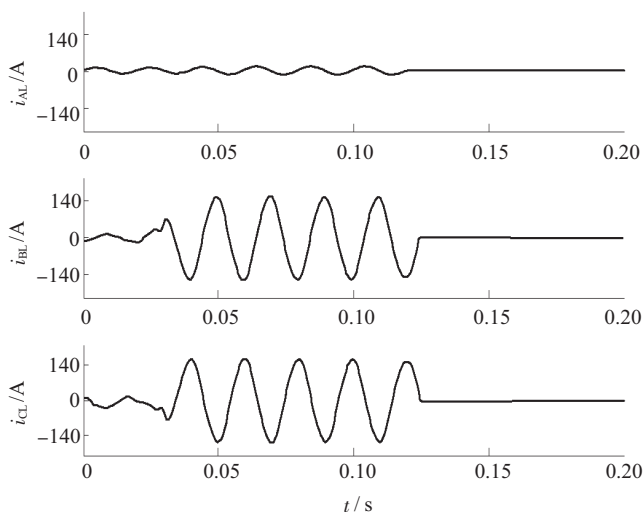


图5 II线的再次故障波形

从图3、图4看,05:14,35 kV I 开关保护动作跳闸,35 kV II 保护未动作跳闸。

(3) I 保护定值:过流 I 段 2352 A,0 s。波形 A 相电流幅值 $40 \times 120 / 1.414 = 3400$ A。过流 I 段动作,正确。

(4) II 保护定值:过流 I 段 2880 A,0 s。波形的 C 相电流幅值为 $32 \times 120 / 1.414 = 2710$ A。过流 I 段不动作,正确。

(5) 结合图3、图4的波形中2条线路故障电流及小电流系统故障电压理论分析可知:I 线 A 相接地,引起 35 kV 系统 B 相、C 相两相母线电压升高至线电压,结果导致 II 线的 C 相电缆接头击穿接地。即 I 线 A 相接地、II 线的 C 相接地造成了 35 kV 系统中产生了 A 相、C 相两相故障。但 35 kV I 开关保护中只有 A 相电流且达到 I 段动作值而跳闸;II 开关保护 C 相电流没有达到 I 段动作值只有启动状态。

图5显示 II 线 C 相一直处于接地状态,B 相电缆接头由于承受不了长期线电压而击穿,导致 II 线 BC 相间故障。第二次故障为 II 线 BC 相间故障故障,II 线保护正确动作直接切除了故障。

2 疑问

(1) 正常情况下,同一线路相间故障,两故障相故障电流应相同。不同线路异名相两点接地故障时,两故障相故障电流不同是否合理;

(2) 中性点经消弧线圈接地,对故障点是否注入电感电流,其对两故障相的故障电流是如何影响的;

(3) 本次异地异名相故障,故障线路并未同时跳闸,动作行为是否正确,定值设定是否合理;

(4) 中性点其他接地方式时,不同线路异名相接地故障时,故障电流及保护动作行为如何。

3 不同接地方式故障电流流向分析

系统中广泛应用的中性点非有效接地系统分为2类:中性点不接地系统,中性点经消弧线圈接地系统。如图6所示。当 1G 断开时,图示为中性点不接地系统;当 1G 闭合时,图示为中性点经消弧线圈接地系统。

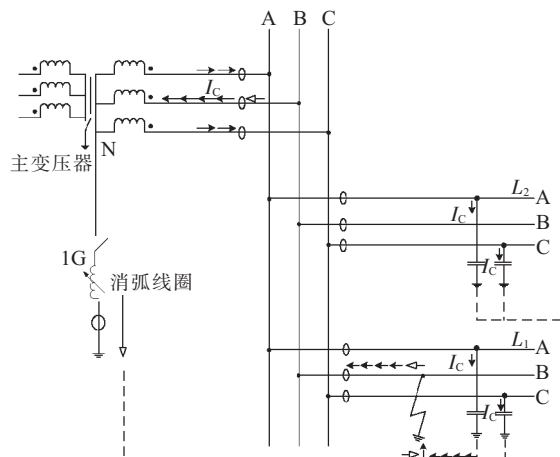


图6 中性点非有效接地系统及单相接地电流流向图

3.1 系统单点接地电流流向

假定线路 L1 发生 B 接地故障,且 1G 打开,此时,全网电容电流均流入惟一的接地点,并通过系统中性点与其他支路构成回路,电流流向由图6的实心箭头构成;当 1G 闭合时,接地点不仅流入全网的电容电流,而且增加流入了一个补偿的电感电流,电感电流如图6的空心箭头所示。

3.2 系统两点接地情况电流流向

如图7所示。假定线路 L1 发生 B 接地故障,线路 L2 由于 A 相、C 相电压升高,C 相绝缘击穿,形成两点接地。当 1G 打开时,线路 L1 的接地点与线路 L2 的接地点构成唯一通路,L1 线 B 相电流与 L2 线 C 相电流大小相等方向相反,电流流向由图7实心箭头构成;当 1G 闭合时,中性点也向地注入电流,相当于 L1 线 B 相与 L2 线 C 相相间短路经由消弧线圈回到系统中性点,电流流向由图7空心箭头构成。

从上分析可见,中性点不接地时,异名故障相中的

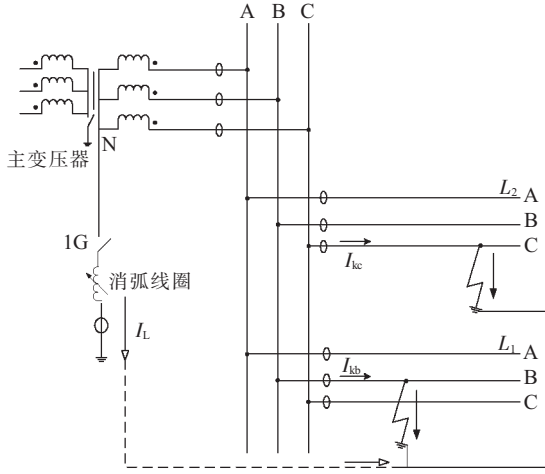


图7 不同线路异名相两点接地电流流向图

故障电流始终相等。中性点经过消弧线圈接地时,由于中性点向共同的接地点注入了电感电流,这对于其中一条故障线为助增电流,对于另一条故障线为汲出电流,造成了2故障电流存在差异。

4 异名相两点接地故障数学模型及求解

4.1 异名相两点接地故障数学模型

同一母线引出的两条线路上异地不同名相两点接地如图8所示。虽然异地不同名相发生两点接地,对于线路来说,相当于单相接地短路, L_1 线路的零序

电流为 $\frac{\dot{I}_{KB}^{(1,1)}}{3}$, L_2 线路的零序电流为 $\frac{\dot{I}_{KC}^{(1,1)}}{3}$, 于是故障线路

的压降分别为 $(\dot{I}_{KB}^{(1,1)} + 3K \frac{\dot{I}_{KB}^{(1,1)}}{3})Z_1 l_1$, $(\dot{I}_{KC}^{(1,1)} + 3K \frac{\dot{I}_{KC}^{(1,1)}}{3})Z_1 l_2$ 。

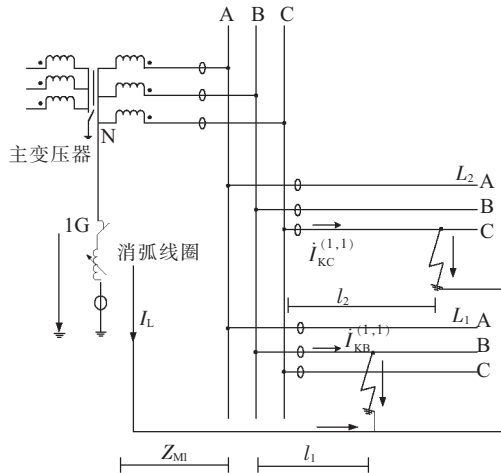


图8 消弧线圈接地系统异地异名相两点接地电流图

当中性点电压为 \dot{U}_N 、中性点电流为 \dot{I}_L 时,则:

$$\begin{cases} \dot{I}_{KB}^{(1,1)} + \dot{I}_{KC}^{(1,1)} + \dot{I}_L = 0 \\ \dot{U}_N + \dot{E}_B = \dot{I}_{KB}^{(1,1)} Z_{M1} + \dot{I}_{KB}^{(1,1)} (1+K) Z_1 l_1 \\ \dot{U}_N + \dot{E}_C = \dot{I}_{KC}^{(1,1)} Z_{M1} + \dot{I}_{KC}^{(1,1)} (1+K) Z_1 l_2 \\ \dot{U}_N = \dot{I}_L X_L \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中: Z_{M1} 为系统侧阻抗; \dot{E}_B, \dot{E}_C 为B相、C相的电源电动势。

4.2 电路叠加原理求解

为了求解方便,将图8的故障电路等效,如图9所示,分别以B相电源电动势和C相电源电动势单独作用,最后叠加求解。

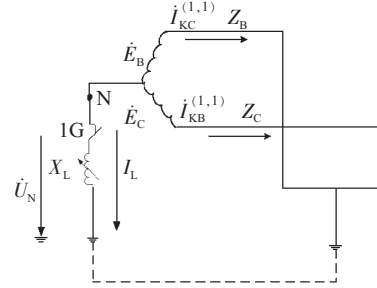


图9 故障等效电路图

假定 $Z_B = Z_{M1} + (1+K)Z_1 l_1$, $Z_C = Z_{M1} + (1+K)Z_1 l_2$, 则求解方程为:

$$\begin{cases} \dot{I}_{KB}^{(1,1)} - \dot{I}_{KC}^{(1,1)} = \frac{\dot{E}_B Z_C - \dot{E}_C Z_B}{Z_B Z_C + Z_B X_L + Z_C X_L} \\ \dot{I}_{KB}^{(1,1)} = \frac{\dot{E}_B Z_C - \dot{E}_A X_L}{Z_B Z_C + Z_B X_L + Z_C X_L} \\ \dot{I}_{KC}^{(1,1)} = \frac{\dot{E}_C Z_B - \dot{E}_A X_L}{Z_B Z_C + Z_B X_L + Z_C X_L} \end{cases} \quad (2)$$

进一步的话,由于 $\dot{E}_C = \dot{E}_B e^{j240^\circ}$, 因此B相、C相的故障电流差值为:

$$\dot{I}_{KB}^{(1,1)} - \dot{I}_{KC}^{(1,1)} = \frac{\dot{E}_B (Z_C - Z_B e^{j240^\circ})}{Z_B Z_C + Z_B X_L + Z_C X_L} \quad (3)$$

Z_C, Z_B 均为线路阻抗角 70° , 由于 Z_B 旋转了 240° 角, Z_C 与 Z_B 之差的模值恒不等于0。可见由于中性点电抗补偿电流的分流注入作用,一个故障相的故障电流得到增强,另一故障相的故障电流则减小了,相当于汲出作用。

5 结束语

(1) 经理论分析,中性点经消弧线圈接地系统,不同线路异名相两点接地故障时,无论故障点位置在保护区内何处,两故障相的故障电流恒不相等。

(2) 故障时,中性点经大地回路向两故障线路注入感性补偿电流,对于一条故障线路起增益作用,另一条则起汲出作用。35 kV 线路一般采用三段式过电流保护,此时增益作用故障线路更易动作,汲出作用故障线路有很大可能因低于动作阈值而不动作。本文故障范例保护动作过程正确,符合实际现场故障情况。

(3) 小电流接地系统中性点不接地,发生不同线

路异名相两点接地故障, 由于两故障相故障电流恒相等, 两故障线路三段式过电流保护必定同时动作。

(4) 不同线路异名相两点接地故障时, 现场保护运行工作人员对保护动作行为分析, 首先应考虑到小电流系统中性点接地方式。

参考文献:

- [1] 江苏省电力公司. 电力系统继电保护原理与实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006: 116-118.
- [2] 陆于平, 吴济安, 袁宇波. 主设备数字式保护技术的讨论[J]. 江苏电机工程, 2003, 22(3): 6-9.
- [3] 徐青龙, 吴 炜. 两起消弧线圈系统故障案例分析[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(4): 18-19, 23.

- [4] 许小兵, 董丽金, 袁 栋. 智能变电站小电流接地选线装置的研究与实现[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(5): 55-58.
- [5] 程 华, 王 静. TLS1B 保护在同杆并架双回路异名相故障时的运用[J]. 四川电力技术, 2007, 30(5): 45-46.
- [6] 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.

作者简介:

鲍有理(1966), 男, 安徽安庆人, 高级工程师, 从事电力系统继电保护专业技术管理工作;
季东方(1974), 男, 江西抚州人, 工程师, 从事电力系统设备维护及技术支持工作。

Characteristic Analysis on Grounding Fault Protection in Small Current Grounding Power Systems

BAO Youli¹, JI Dongfang²

(1. Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214061, China; 2. Guodian Nanjing Automation Company, Nanjing 211100, China)

Abstract: Two-point grounding faults in different phases and lines can be frequently caused by single-phase grounding fault in small current grounding power systems. When two-point grounding fault occurs in different phases in arc suppression coil grounding system, due to the influence of neutral point current injection, a difference occurs between the two fault lines, which can cause protection refusing to trip. Based on the circuit superposition theorem, this paper derives the deviation calculation formula. By using fault current's waveform, the protection action is analyzed. Moreover, other kinds of grounding problems are analyzed when two-point grounding faults occur in different phases and lines, which provides references for future studies.

Key words: small current grounding power systems; arc suppression coil; line protection

(上接第 16 页)

参考文献:

- [1] 陈宏君, 刘克金, 冯亚东, 等. 新一代保护测控装置配套工具软件设计与应用[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(20): 92-96.
- [2] 叶 翔, 刘 辉, 周永忠. 智能变电站图模一体化设计软件实现方案[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(3): 41-44.
- [3] 张庆武, 王永平, 陈小军, 等. 特高压直流控制保护系统与开发[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(21): 88-93.
- [4] 刘克金, 陈宏君, 冯亚东, 等. 新一代控制保护系统图形化编程软件设计与实现[J]. 工业控制计算机, 2014, 27(10): 82-87.
- [5] 沈 刚, 薛海平, 吕 冰, 等. 直流控制保护故障录波采集及远传研究与应用[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(3): 16-18.
- [6] 王俊生, 吴林平, 王振曦, 等. 高压直流控制保护系统 IEC 61850 建模[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(1): 41-44.

- [7] Communication Networks and Systems for Power Utility Automation-Part 6: Configuration Description Language for Communication in Electrical Substation Related to IEDs[S]. Ed 1.0.2003.
- [8] 陈宏君, 刘克金, 冯亚东, 等. 一种基于组件和脚本的可视化程序产物形成架构及应用[J]. 工业控制计算机, 2013, 26(12): 1-5.

作者简介:

陈宏君(1981), 男, 浙江江山人, 高级工程师, 研究方向为可视化编程软件研发, IEC 61850 通信建模研究;
王国栋(1988), 男, 安徽阜阳人, 工程师, 研究方向为可视化编程软件研发;
刘克金(1982), 男, 江苏连云港人, 工程师, 研究方向为可视化编程软件研发。

Design of Automatic IED Modeling for HVDC Control and Protection System

CHEN Hongjun, WANG Guodong, LIU Kejin

(Nanjing Nari-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: The paper presents an automatic IEC 61850 modeling scheme for intelligent device of PCS-9550 HVDC control and protection system. Firstly the scheme defines mapping regulations between structure of graphical program and hierarchical model of IED, and designs corresponding graphical modeling symbols, data templates and processing scripts. Then it links program variables to input notes of the graphical modeling symbols with connecting lines and sets descriptions and other properties of these symbols in graphical pages. Finally the scheme executes corresponding scripts of the symbols to create logic nodes dynamically and generates DOI contents of data instance during the code generation period. Therefore, the scheme generates IED model file automatically and improves engineering efficiency.

Key words: HVDC control and protection; IED modeling; hierarchical data mapping; script