

一起因线路架设方式不当引起的接地横差保护误动分析

赵世春, 李永军, 闫宝庚, 史春森, 王力飞

(大庆油田电力集团, 黑龙江 大庆 163453)

摘要: 在一次某变电所 110 kV 线路发生接地短路时, 相邻线路接地横差保护发生误动。通过对故障录波的分析及线路现场接线情况的调查, 发现相邻线路接地横差保护的误动是由于线路架设方式不当造成的。通过对该线路实际架线方式的分析和电网理论计算, 得出该方式下故障线路零序电流对非故障线路零序电流影响很大这一结论, 确定了此次误动发生的真正原因。

关键词: 110 kV 双回线; 架设方式不当; 零序互感; 接地横差保护; 误动

Analysis on a maloperation of earthing crossed differential protection owing to improper transmission line lay mode

ZHAO Shi-chun, LI Yong-jun, YAN Bao-geng, SHI Chun-sen, WANG Li-fei

(Daqing Oil Field Electric Power Group, Ltd, Daqing 163453, China)

Abstract: Once, when the 110kV line of a transformer substation happened earthing short circuit, the earthing crossed differential protection of its adjoining line maloperated. Through the analysing fault wave and investigating the real line lay mode, this paper finds that the causation transmission line lay mode is incorrect. It analyzes the factual transmission line lay mode and does theoretic calculation. The result shows that the zero-sequence electric current of the fault line took much effect on the non-fault line and confirms the real reason of this maloperation.

Key words: 110kV double loop-line; improper lay mode; zero sequence mutual inductance; earthing crossed differential protection; maloperation

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2008)09-0073-03

0 引言

2007年5月14日11时, 大庆油田电网110kV铁峰乙线因建筑施工设备误碰造成45-46号塔间C相单相接地短路。铁人变铁峰甲乙线横差保护动作, 铁峰乙线开关跳闸, 重合闸不成功; 登峰变铁峰甲乙线横差保护动作, 铁峰乙线开关跳闸, 重合闸未投。同时铁人变110kV铁人甲乙线横差保护动作, 铁人甲线开关跳闸, 重合闸成功; 让一次变侧铁人甲乙线无保护动作。

故障时系统接线方式如图1所示: 让一次变是铁人甲乙线的电源侧, 铁人变又通过铁峰甲乙线带登峰变运行。

1 保护动作情况分析

根据故障情况判断, 铁峰乙线两侧横差保护动作正确, 铁人变铁人甲线横差保护是误动。事故发

生后, 继电保护人员对铁人变铁人甲乙线横差保护进行了检查, 其二次回路及装置本身都未发现问题。

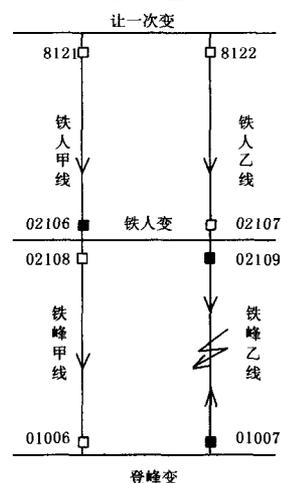


图1 系统接线图

Fig.1 Line connection graphics of system

在对故障波形进行分析时发现,铁人甲乙线横差保护误动不是发生在故障初始时刻,而是发生在铁峰乙线开关重合时,且铁人乙线零序电流明显大于铁人甲线零序电流。铁人甲乙线故障波形分别如图 2、图 3 所示,铁峰乙线故障初始时,铁人甲线零序电流为 22.6A、铁人乙线零序电流为 25.1A;铁峰乙线开关重合时,铁人甲线零序电流为 19A、铁人乙线零序电流为 25.6A,两线 CT 变比均为 600/5。对于铁人甲乙线来说,铁峰乙线 C 相接地是区外故障,为什么两条线路的零序电流会有这么大的差异呢?通过对线路架设方式的分析,我们发现了问题。

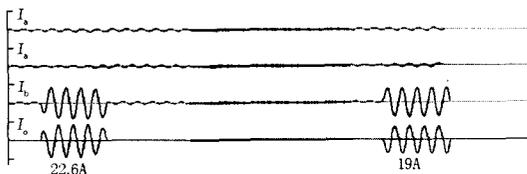


图 2 铁人甲线电流波形

Fig.2 Electric current wave graphics of Tierenjia line

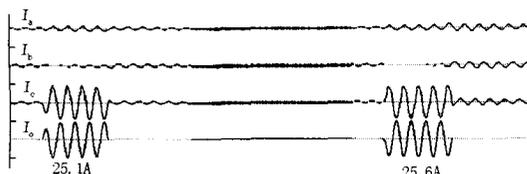


图 3 铁人乙线电流波形

Fig.3 Electric current wave graphics of Tierenyi line

铁人变是后 π 入原 110 kV 让登甲乙线的,铁人变 π 入时,在距铁人变 1.74 km 处,双回线的架设方式由原来的铁人甲乙线同塔架设改为铁人甲线与铁峰甲线、铁人乙线与铁峰乙线同塔架设方式,如图 4 所示。

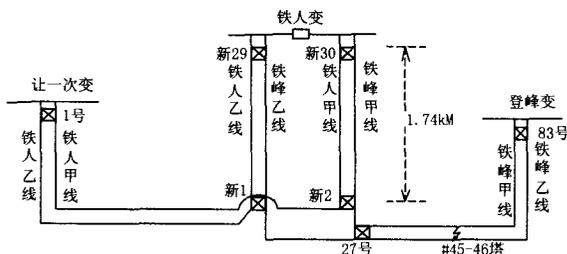


图 4 线路实际接线

Fig.4 Factual line connection

图 4 所示的线路可以更简单地用图 5 来表示,110kV 线路是大电流接地系统,同塔双回线之间的零序互感较强,对零序电流的分布影响很大。

铁峰乙线发生 C 相接地故障时,铁峰甲乙线都流过零序故障电流,铁峰甲线对铁人甲线存在零序互感,铁峰乙线对铁人乙线也存在零序互感,由于

铁峰甲、乙线零序故障电流大小不同,对铁人甲乙线零序电流的影响也不同。波形显示,铁人乙线零序电流为 25.1 A,铁人甲线零序电流为 22.6 A,差流为 2.5 A,铁人甲乙线接地横差保护的定值为 4 A,横差保护不动。

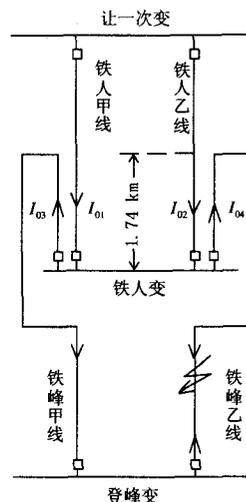


图 5 接线简化图

Fig.5 Simple line connection graphics

铁峰乙线开关重合时,因登峰变铁峰乙线重合闸未投,故铁峰甲线只有负荷电流,无零序故障电流通过,不会对零序故障电流产生影响,而铁峰乙线有很大的零序故障电流,通过零序互感作用使铁人乙线的零序电流增大。波形显示,铁人乙线零序电流为 25.6 A,铁人甲线零序电流为 19 A,两者之差为 6.6 A,达到了横差保护动作值,横差保护动作,跳铁人甲线开关。

2 铁人甲乙线零序电流差的计算

为说明问题,仅对铁峰乙线开关重合时的情况进行计算。计算分两步进行,先计算因线路参数不同造成的零序电流之差,再计算零序交叉互感造成的零序电流之差,然后把两步计算的结果进行叠加。

线路参数如下:

铁人甲线: LGJ-240/7.736 km

铁人乙线: LGJ-240/7.713 km

同塔双回线的架设方式均如图 6 所示。

单位长度线路参数 (Ω/km):

正序电阻: $R_1=0.132$

正序电抗: $X_1=0.394$

同塔双回线之间的互几何均距:

$$D_{1-2} = \sqrt{(6 * 7.3824 * 9.2195)^2 * 7.3824^2 * 7} = 7.363 \text{ m}$$

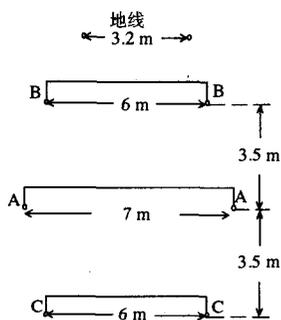


图 6 架线方式

Fig.6 Transmission line lay mode

同塔双回线之间零序互阻抗的计算值^[1]:

$$Z_{I-II0} = 3(r_e + j0.145 \log \frac{D_e}{D_{I-II}}) =$$

$$0.15 + j0.9278 = 0.9398 \phi_{I-II0} = 80.8$$

其中: D_e 为虚拟导线等值深度, 取 1000 m; r_e 为大地电阻, 取 $0.05 \Omega/\text{km}$ ^[2]。

非同塔双回线之间零序互阻抗的计算值:

两排铁塔之间的距离约为 100 m, $D_{I-II} = 100 \text{ m}$

$$Z_{I-II0} = 3(r_e + j0.145 \log \frac{D_e}{D_{I-II}}) =$$

$$0.15 + j0.435 = 0.4601$$

$$\phi_{I-II0} = 71^\circ$$

铁人甲乙线同塔架设段长度为 5.965 km, 零序互感阻抗计算值:

$$Z_{m01 \text{ 同}} = (0.15 + j0.9278) * 5.965 = 0.89475 + j5.5343$$

铁人甲乙线非同塔架设段长度为 1.74 km, 零序互感阻抗计算值:

$$Z_{m01 \text{ 非}} = (0.15 + j0.435) * 1.74 = 0.261 + j0.7569$$

铁人甲乙线之间零序互感阻抗和值:

$$Z_{m01} = Z_{m01 \text{ 同}} + Z_{m01 \text{ 非}} = 1.1557 + j6.2912 = 6.3965$$

$$\phi_{m01} = 79.6^\circ$$

铁人甲乙线投产时曾对线路零序参数进行实测, 数值如表 1 所示:

表 1 线路参数

Tab.1 Line data

线路名	零序电阻	零序电抗	零序
铁人甲线	2.9293	9.5403	9.979
铁人乙线	2.8843	9.4386	9.865
铁人甲乙线之间的零序互阻抗: 4.962			

从实测数据可以看出, 铁人甲乙线之间零序互阻抗的计算值和实测值之间存在较大的差别, 出现这种情况的主要原因是计算时采用的大地电阻率与实际大地电阻率不同, 计算时应采用实测值。

1) 铁人甲乙线参数不同引起的零序电流之差零序差流系数:

$$K_{c10} = |(Z_{01} - Z_{m0}) - (Z_{02} - Z_{m0})| / |(Z_{01} - Z_{m0}) + (Z_{02} - Z_{m0})| =$$

$$|0.045 + j0.1017| / |5.8136 + j18.9789 - 1.7914 - j9.7611| =$$

$$0.011 \quad (1)$$

其中: $Z_{m0} = 4.962 \quad \phi_{m0} = 79.6^\circ$

铁人甲乙线因线路参数不同引起的零序电流之差为: $\Delta I_0' = 0.011 * (25.6 + 19) = 0.49 \text{ A}$, 乙线电流大于甲线电流。

2) 交叉互感对铁人甲乙线零序电流分布的影响

从前面的计算可以看出, 同塔双回线之间的零序互感阻抗与非同塔双回线之间零序互感阻抗的相角差很小, 若忽略相位差的影响, 则同塔双回线与非同塔双回线单位长度零序互感阻抗的比值为:

$$K = Z_{I-II0} / Z_{I-II0}' = 0.9398 / 0.4601 = 2.0426$$

设同塔并架双回线单位长度零序互感阻抗值为 X , 根据铁人甲乙线之间零序互阻抗的实测值有:

$$5.965X + (1.74 / 2.0426)X = 4.962 \quad (2)$$

解得: $X = 0.7284 \Omega/\text{km}$

故铁峰乙线与铁人乙线同塔并架部分零序感阻抗的实际值应为: $Z_{m20} = 0.7284 * 1.74 = 1.2675 \Omega$

铁峰乙线与铁人甲线之间的零序互感阻抗的实际值应为: $Z_{m30} = 0.3566 * 1.74 = 0.6205 \Omega$

按图 5 列出铁峰乙线开关重合时铁人甲乙线的零序电压方程:

铁人甲线: $\Delta U_0 = I_{01}Z_{10} + I_{02}Z_{M0} - I_{04}Z_{M30} \quad (3)$

铁人乙线: $\Delta U_0 = I_{02}Z_{20} + I_{01}Z_{M0} - I_{04}Z_{M20} \quad (4)$

$$I_{04} = I_{01} + I_{02} \quad (5)$$

解方程:

$$I_{01} = [(Z_{20} - Z_{M0} - Z_{M20} + Z_{M30}) / (Z_{10} - Z_{M0} - Z_{M30} + Z_{M20})] I_{02}$$

$$I_{01} = 0.7514 I_{02}$$

$$I_{01} + I_{02} = 0.7514 I_{02} + I_{02} = 44.6 \text{ A}$$

$$I_{02} = 25.46 \text{ A}, \quad I_{01} = 19.13 \text{ A}$$

交叉互感引起的零序差流为:

$\Delta I_0 = 25.46 - 19.13 = 6.33 \text{ A}$ 乙线电流大于甲线电流。

3) 铁人甲乙线零序电流总偏差

$\Delta I_0 = \Delta I_0' + \Delta I_0'' = 6.33 + 0.49 = 6.82 \text{ A}$ 乙线电流大于甲线电流。

把计算结果与故障录波结果进行比对, 波形显示铁人甲乙线之间的零序电流差为 6.6 A, 理论计算结果与故障波形基本相符。

3 结论

通过上述分析可以看出, 对大电流接地系统而言, 若不同双回线交叉同塔并架, 因交叉零序互感

(下转第 83 页 continued on page 83)

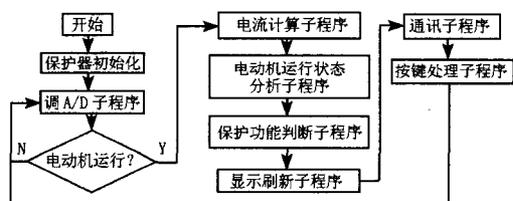


图 6 程序流程

Fig.6 Flow chart of software

3 抗干扰措施

电动机保护器作为保护电动机装置要具有很强的抗干扰性。在本产品软硬件设计过程中采取如下措施提高产品的抗干扰性: 1) 硬件方面: 电源部分加 EMC 滤波器, 高频变压器次级与初级加高压电容, 输出部分加滤波电路; 信号采集部分增加滤波电路; 在作信号处理的各芯片输入口处加端口保护电路; 在各芯片电源输入处加去藕电容; 继电器两端并连续流二极管, 加光耦与 CPU 端口隔离; 不使用的 CPU 端口定义为输出状态; PCB 板布局时模拟部分与数字部分作分区处理, 模拟信号在模拟区域内布线, 数字信号数字区域内布线, 二者不进入彼此区域内; 布线时尽量加粗电源线与地线, 信号线走线时走 145° 线, 不走直角线; 使用 CPU 内部看门狗监控程序运行。2) 软件方面: 各路信号采集都使用软件滤波, 增加采样值的准确性。通过采取一系列的措施, 产品的抗干扰性能大幅提高, 本产品一次性顺利通过 3C 安全认证型式试验。

4 结论

ARD3 电动机保护器采用先进的设计方案, 集测量、保护、控制、通讯于一身, 产品性能安全可靠, 可以对电动机实施可靠有效的保护。ARD3 电动机保

护器在实际使用中完全可以替热继电器、温度继电器等传统的电动机保护产品, 替代各种指针式电量表、信号灯、电量变送器等常规元件, 简化电动机控制电路, 减少柜内电缆连接及现场施工量。

参考文献

- [1] 任致程, 周中. 电力电测数字仪表原理与应用指南[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
REN Zhi-cheng, ZHOU Zhong. Principle of Digital Electric Power Measurement Meter and Application Guides[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.
- [2] 佟为民, 李中伟, 倪文利. 基于 PIC16F876 单片机的智能低压电动机综合保护器的研究[J]. 继电器, 2005, 33(3): 43-46.
TONG Wei-min, LI Zhong-wei, NI Wen-li. Study of an Intelligent Low-voltage Integrative Motor Protector Based on PIC16F876 Single Chip[J]. Relay, 2005, (3): 43-46.
- [3] 佟为民, 赵志衡. 一种微机式电动机综合保护器的研制[J]. 低压电器, 2003, (3): 20-23.
TONG Wei-min, ZHAO Zhi-heng. Study of an Integrative Motor Protector Based on Microcontroller[J]. Low Voltage Apparatus, 2003, (3): 20-23.
- [4] 夏天伟, 郑祥, 王士荣. 电动机智能型保护监控装置的研究[J]. 沈阳工业大学学报, 2004, (4): 399-402.
XIA Tian-wei, ZHENG Xiang, WANG Shi-rong. Research of Intelligent Motor Protector and Monitor[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2004, (4): 399-402.

收稿日期: 2007-08-08; 修回日期: 2007-09-19

作者简介:

赵波(1982-), 男, 本科, 主要从事电动机控制器的设计与应用; E-mail: ZHAOBOQY11@163.COM

周中(1968-), 男, 学士, 主要从事智能配电系统的研究及应用;

黄少杰(1968-), 男, 学士, 主要从事电气设备项目管理。

(上接第 75 页 continued from page 75)

作用, 故障线路零序电流对非故障线路零序电流分布的影响很大, 可能导致非故障线路零序电流保护不正确动作。因此在线路设计时, 要充分考虑架线方式对继电保护装置的影响, 避免因一、二次设备配合不当引起的继电保护不正确动作。

参考文献

- [1] 刘万顺. 电力系统故障分析[M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.
LIU Wan-shun. Analysis on Faults of Electric Power System[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1986.
- [2] 何仰赞, 温增银, 汪馥英, 等. 电力系统分析[M]. 湖北:

华中理工大学出版社, 1991.

HE Yang-zan, WEN Zeng-yin, WANG Fu-ying, et al. Analysis on Electric Power System[M]. Hubei: Huazhong University of Science and Technology Press, 1991.

收稿日期: 2007-09-10; 修回日期: 2007-11-22

作者简介:

赵世春(1971-), 男, 工程师, 从事继电保护运行管理、整定计算工作; E-mail: zhaoshch@cnpc.com.cn

李永军(1963-), 男, 高级工程师, 从事继电保护运行管理、整定计算工作;

闫宝庚(1965-), 男, 工学硕士, 高级工程师, 从事继电保护运行管理工作。