

故障解列装置应用原理的探讨

杜浩良¹, 郝力飙¹, 滕学军², 李娟³(1. 金华电业局, 浙江 金华 321017; 2. 许昌瑞贝卡自来水有限公司, 河南 许昌 46100;
3. 淮阴供电公司, 江苏 淮阴 223300)

摘要: 针对电力系统中不同的运行方式, 装设不同原理的自动装置可以满足不同的运行需要。在主送电源线路发生瞬时性故障时, 依靠故障解列装置动作跳开接入终端变电所的小电源开关, 以满足大系统侧检无压重合闸的需要。

关键词: 故障解列; PT断线; 重合闸; 可靠性

Measures of fault disconnection device's application principle

DU Hao-liang¹, HAO Li-biao¹, TENG Xue-jun², LI Juan³(1. Jinhua Power Supply Bureau, Jinhua 321017, China; 2. Xuchang Rebecca Tap Water Company Limited,
Xuchang 461000, China; 3. Huaiyin Power Supply Company, Huaiyin 223300, China)

Abstract: According to the different methods of operation in the power system, various automatic devices of different principles can be installed to satisfy the running needs. When the main transmission line is in a transient fault, it will trip the small power supply side's circuit breaker which is installed in the terminal substation relying on the fault disconnection devices' movement. And this can satisfy the no-voltage test automatic reclosing's need of the large-scale systems side.

Key words: fault disconnection; PT wire-break; reclosing; reliability

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2008)05-0084-04

0 引言

随着国民经济的快速发展, 电网建设规模发展很快, 越来越多的小水电、余热发电、热电项目上马, 机组容量相对也越来越大, 接入 35 kV、10 kV 公用线路上或直接接入终端变电所的 35 kV、10 kV 母线上。在大电源系统侧主送电源线路发生瞬时性故障情况下, 由于接入终端变电所中、低压侧的小电源作用于变电所高压母线, 使得大系统侧检无压重合闸条件无法满足, 不能可靠重合, 因此必须采取措施加以避免。

1 装设原因

某 110 kV 变电所系统接线如图 1 所示, 1DL 开关安装有线路保护, 110 kV 线路压变安装于线路 A 相, 作为终端变电所的进线开关 2DL 未安装有线路保护, #1 主变中性点不接地运行, #1 主变中性点无零序过流保护及零序间隙过流保护。

1.1 避免变压器中性点绝缘损坏

当 110 kV 线路发生瞬时性单相接地故障时,

1DL 灵敏段保护动作跳开本开关, 系统与小电源 1、2 解列运行, 某 110 kV 变电所由中性点不接地系统转化为中性点接地系统, 接地点为 110 kV 线路上的故障点, 中性点电压发生偏移。目前系统中采用的多为分级绝缘的变压器, 中性点绝缘水平较低, 当中性点电压升高后往往容易将变压器中性点绝缘损坏, 因此系统发生接地故障后必须尽快切除小电源 1、2。

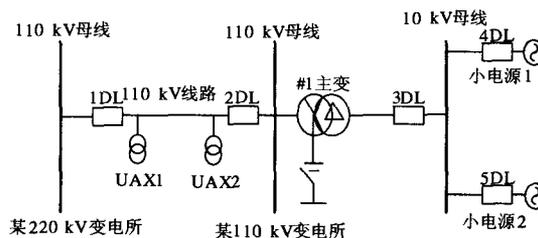


图 1 某 110 kV 变电所系统接线图

Fig.1 System main connection diagram

1.2 提高 1DL 开关重合闸的可靠性

当 110 kV 线路 B (或 C) 相发生瞬时性单相接地故障, 1DL 开关跳开后, 110 kV 变电所中性点电压发生偏移, A、C(或 A、B)相电压升高, 使 220 kV 变电所的 110 kV 线路的 A 相线路电压抬高, 若此电压高于 1DL 开关重合闸的检无压定值时, 将使 1DL 开关的检无压重合失败。

当 110 kV 线路发生 BC 相故障, 1DL 开关跳开后, 小电源 1、2 将在某 110 kV 变电所的 110 kV 母线 A 相上产生一个比较高的残压, 接近于健全电压, 往往会高于 1DL 开关重合闸的检无压定值, 将使 1DL 开关的检无压重合失败。

为了防止上述情况的发生, 非常有必要在 110 kV 变电所的 110 kV 母线上装设故障解列装置, 当 110 kV 线路发生瞬时性相间或单相接地故障时, 故障解列装置动作跳开小电源 4DL、5DL 开关并闭锁重合闸, 使 220 kV 变电所 1DL 开关检无压重合能可靠动作。

2 故障解列装置的原理分析

故障解列装置接入 110 kV 变电所的高压母线电压 U_A 、 U_B 、 U_C 、 $3U_0$ 、 U_N , 系统发生单相接地故障时, 母线上产生较高的零序电压; 发生相间故障时, 故障相母线电压会降低。为了满足各种故障类型情况下都能可靠动作切除小电源, 故障解列装置应具有低电压动作、零序过电压动作功能, 要求线电压低于低压整定值, 或者外加零序电压 $3U_0$ 高于零序过压整定值并且自产零序电压高于 8 V 时, 开放解列功能。

故障解列装置的低压动作逻辑可以是三个相电压或线电压均低于整定值时开放解列功能 (与门逻辑), 也可以是任何一个相电压或线电压低于整定值时开放解列功能 (或门逻辑), 这里涉及到系统发生故障后, 故障解列装置何时开始计时准备动作的问题。当系统发生不对称故障时, 由于存在健全相使得受端变电所高压母线不会三相均无压。为了使故障解列装置与系统发生故障时同步开始计时, 更早地切除小系统电源, 使小系统尽早解列运行, 系统侧重重合闸等待检无压的时间缩短, 因此采用三个低电压或逻辑启动。

3 PT 断线分析

由于故障解列装置具有低电压或门逻辑开放功能, 当母线电压发生单相或多相 PT 断线时, 会导致接入装置的线电压降低, 可能会使装置的低压解列功能误动作, 因此必须对各种 PT 断线情况进行详细分析、判断。

如图 2~图 5 所示:

图 2 所示, 故障解列装置内小 PT 为 Y 型接线, 当 C 相熔丝熔断发生 PT 断线时:

$$U_a = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}; U_b = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}; U_c = 0 \text{ V}$$

$$U_{ab} = 100 \text{ V}; U_{bc} = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}; U_{ac} = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}$$

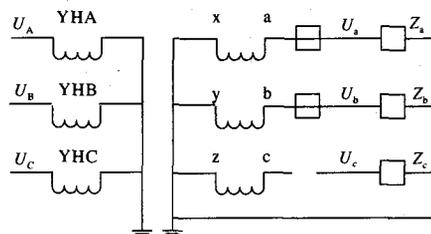


图 2 PT 为 Y 型接线的 C 相断线

Fig.2 PT-Y model connection of C phase breaking

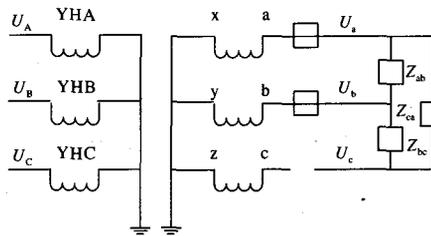


图 3 PT 为 Δ 型接线的 C 相断线

Fig.3 PT-Δ model connection of C phase breaking

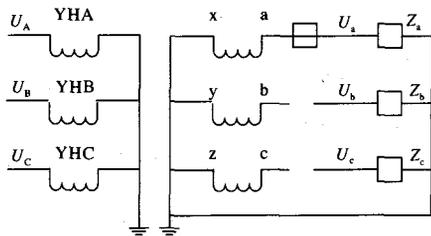


图 4 PT 为 Y 型接线的 BC 相断线

Fig.4 PT-Y model connection of BC phase breaking

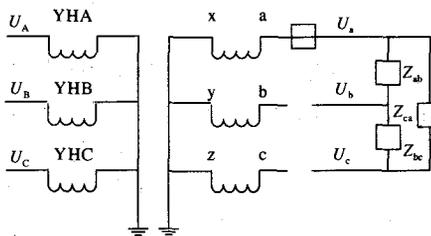


图 5 PT 为 Δ 型接线的 BC 相断线

Fig.5 PT-Δ model connection of BC phase breaking

图 3 所示, 故障解列装置内小 PT 为 Δ 型接线,

当 C 相熔丝熔断发生 PT 断线时:

$$U_a = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}; \quad U_b = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V};$$

$$U_c = 50 \text{ V}; \quad U_{ab} = 100 \text{ V};$$

$$U_{bc} = Z_{bc} / (Z_{ac} + Z_{bc}) \times U_{ab} = \frac{1}{2} \times 100 = 50 \text{ V};$$

$$U_{ca} = Z_{ac} / (Z_{ac} + Z_{bc}) \times U_{ab} = \frac{1}{2} \times 100 = 50 \text{ V};$$

图 4 所示, 故障解列装置内小 PT 为 Y 型接线, 当 B、C 两相熔丝熔断发生 PT 断线时:

$$U_a = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}; \quad U_b = 0 \text{ V}; \quad U_c = 0 \text{ V}$$

$$U_{ab} = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}; \quad U_{bc} = 0 \text{ V}; \quad U_{ac} = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}$$

图 5 所示, 故障解列装置内小 PT 为 Δ 型接线, 当 B、C 两相熔丝熔断发生 PT 断线时:

$$U_a = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}; \quad U_b = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V};$$

$$U_c = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}$$

$$U_{ab} = 0 \text{ V}; \quad U_{bc} = 0 \text{ V}; \quad U_{ca} = 0 \text{ V}$$

综上所述, 发生单相或两相 PT 断线时, 都会使一个或多个线电压降低至额定相电压或额定相电压以下, 甚至降为 0 V; 当然发生三相 PT 同时断线时, 三个线电压都降至 0 V。而规程要求故障解列装置的低电压解列整定值一般都设为 65%~70% 额定电压, 因此, 必须采取可靠措施来闭锁装置, 防止由于 PT 断线导致的误动作。

4 PT 断线判据优化

4.1 早期的 PT 断线判据

中性点接地系统, 早期的非全相 PT 断线判据如下:

$$|(U_A + U_B + U_C) \times \sqrt{3} - 3U_0| \geq 8 \text{ V}, \text{ 判为单相或}$$

两相 PT 断线;

三相电压均小于 $0.3U_n$, 且线路电压大于 $0.7U_n$, 判为三相断线。

当系统正常运行发生单相或两相 PT 断线时, 外加零序电压 $3U_0$ 为 0 V, 自产零序电压为 $57\sqrt{3}$ V, 自产与外加零序电压之差恒大于 8 V, 能正确报 PT 断线, 瞬时闭锁低压故障解列; 母线三相均无压、线路有压时判为三相 PT 断线。

但是在实际运行中该判据却常会误报 PT 断线信号、误闭锁故障解列装置的动作。

4.2 误闭锁原因分析

4.2.1 受外加零序电压 $3U_0$ 的极性干扰

该判据容易受外加 $3U_0$ 的极性干扰, 如外加 $3U_0$ 为 U_a 极性端接地, $3U_0$ 为负值, 非全相 PT 断线判据应为 $|(U_A + U_B + U_C) \times \sqrt{3} + 3U_0| \geq 8 \text{ V}$; 外加 $3U_0$ 为 U_x 非极性端接地, $3U_0$ 为正值, 非全相 PT 断线判据应为 $|(U_A + U_B + U_C) \times \sqrt{3} - 3U_0| \geq 8 \text{ V}$, 如果外加 $3U_0$ 极性不能保证正确, 将使非全相 PT 断线判据出错, 误闭锁低压解列。

4.2.2 受自产及外加零序电压 $3U_0$ 幅值变化影响

如图 1, 110 kV 线路末端发生 A 相瞬时性接地故障 (某 110 kV 变电所的 110 kV 母线压变为 $\frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / 0.1$, 电压互感器二次绕组额定电压为 57.7 V, 三次绕组额定相电压为 100 V)。

在 1DL 开关跳开前, 某 110 kV 变电所为中性点接地系统。

$U_{AIII}' = 0$, 中性点电压 $U_N = 0 \text{ V}$, 中性点电压没有发生偏移。

外接

$$U_0 = \frac{1}{3}(U_{AIII}' + U_{BIII}' + U_{CIII}') = \frac{1}{3}(0 + U_{BIII}' + U_{CIII}') = \frac{1}{3}(U_{AIII}' + U_{BIII}' + U_{CIII}' - U_{AIII}') = \frac{1}{3}(-U_{AIII}') = -100 \text{ V}$$

即外接 $3U_0 = (-U_{AIII}') = -100 \text{ V}$

故障解列装置自产

$$\begin{aligned} 3U_{0SUM} &= (U_{AII}' + U_{BII}' + U_{CII}') \times \sqrt{3} = \\ &= (0 + U_{BII}' + U_{CII}') \times \sqrt{3} = \\ &= (U_{AII}' + U_{BII}' + U_{CII}' - U_{AII}') \times \sqrt{3} = \\ &= (-U_{AII}') \times \sqrt{3} = -100 \text{ V} \end{aligned}$$

在 1DL 开关跳开后, 某 110 kV 变电所为中性点不接地系统。

$U_{AIII}' = 0$, 中性点电压 $U_N = -U_A$

$$\begin{aligned} U_0 &= \frac{1}{3}(U_{AIII}' + U_{BIII}' + U_{CIII}') = \\ &= \frac{1}{3}(0 + \sqrt{3}U_{BIII}'e^{-j150^\circ} + \sqrt{3}U_{CIII}'e^{j150^\circ}) = \\ &= \frac{1}{3}(-3U_{AIII}') = -U_{AIII}' \end{aligned}$$

即外接 $3U_0 = -3U_{AIII}' = -3 \times 100 = -300 \text{ V}$

自产

$$\begin{aligned} 3U_{0SUM} &= (U_{AII}' + U_{BII}' + U_{CII}') \times \sqrt{3} = \\ &= (U_{AII}' + U_{BII}' + U_{CII}') \times \sqrt{3} = \end{aligned}$$

$$(0 + U_{BII}e^{-j150^\circ} + U_{CII}e^{j150^\circ}) \times \sqrt{3} =$$

$$(-3U_{AII}) \times \sqrt{3} = -300 \text{ V}$$

注: U_{AII} 、 U_{BII} 、 U_{CII} 为故障发生后电压互感器三次绕组的三相电压;

U_{AII} 、 U_{BII} 、 U_{CII} 为故障发生后电压互感器二次绕组的三相电压;

U_{AIII} 、 U_{BIII} 、 U_{CIII} 为正常运行时电压互感器三次绕组的正常三相电压, 额定相电压为 100 V;

U_{AII} 、 U_{BII} 、 U_{CII} 为正常运行时电压互感器二次绕组的正常三相电压, 额定相电压为 57.7 V;

U_N 为故障发生后中性点发生偏移的电压。

1DL 开关跳开前后, 自产及外加零序电压基数由 100 V 变为 300 V, 相当于把自产及外加零序电压的误差同时放大了 3 倍, 而判据仍然为两者之差大于 8 V, 如果恰逢一个为正误差、另一个为负误差, 使得满足这个条件变得相当容易, 导致误闭锁事件的发生。因此必须采取措施避免类似事件的发生, 如果单纯采用提高 8 V 的门槛值, 势必导致正常方式下判单相 PT 断线的可靠性降低。

4.3 完善后的 PT 断线判据

从故障发生时的具体现象着手分析, 单相 PT 断线与单相接地故障最明显的区别就是: 接地故障时存在外加 $3U_0$ 、PT 断线时无外加 $3U_0$, 共同点是两者均有自产 $3U_0$, 就可以附加一个闭锁判据:

$$\text{外加零序电压有效值 } 3U_0 < 8 \text{ V}$$

$$\text{自产零序电压有效值 } 3U_{OSUM} > 8 \text{ V}$$

因此中性点接地系统单相 PT 断线的判据应完善为:

$$\left| (U_A + U_B + U_C) \times \sqrt{3} - 3U_0 \right| \geq 8 \text{ V}$$

$$\text{自产零序电压有效值 } 3U_{OSUM} > 8 \text{ V}$$

$$\text{外加零序电压有效值 } 3U_0 < 8 \text{ V}$$

(上接第 83 页 continued from page 83)

[2] 许继集团电气保护及自动化事业部.WKH-891 型电铁微机保护装置说明[Z].2002.

Electrical Protection and Automation Enterprise Department in XJ Group Corporation.WKH-891 Electricity Iron Microcomputer Protection Installment Instruction[Z].2002.

[3] 谭秀炳, 刘向阳.交流电气化铁道牵引供电系统[M].成都: 西南交通大学出版社, 2002.

完善了 PT 断线判据后, 故障解列装置能正确动作。

5 结论

针对目前的系统接线情况, 在终端变电所安装功能完善的故障解列装置, 可以提高系统侧检无压重合闸的成功率, 尤其适用于小水电丰富的山区变电所。在我局的 110 kV 尖山变、清溪变、石柱变都曾经发生故障解列装置拒动的情况, 对 PT 断线判据原理做了上述更改之后, 能可靠动作。

目前, 我局所有的故障解列装置 (共计 29 套) 都按该原理进行了反措, 在今年夏天的台风等恶劣天气中经受住了考验, 取得了预期的效果, 保证了电源侧线路保护重合闸的可靠动作, 提高了供电可靠性。

参考文献

- [1] 国家电力调度通讯中心.电力系统继电保护实用技术问答[M].北京:中国电力出版社,2000.
Chinese Power Load Dispatching Communication Center.The Applied Technology Q&A of the Electric Power System Relay Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press,2000.
- [2] 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,1990.
The Setting and Calculation of the Electric Power System Relay Protection and Safe-Automatic Apparatuses[M]. Beijing:China Electric Power Press,1990.

收稿日期: 2007-08-09; 修回日期: 2007-10-18

作者简介:

杜浩良 (1977-), 男, 工程师, 长期从事继电保护整定计算及运行管理工作; E-mail:jh2864@126.com

郝力颀 (1967-), 男, 工程师, 长期从事继电保护检修及管理工作;

滕学军 (1967-), 男, 助理工程师, 长期从事电气维修工作。

TAN Xiu-bing, LIU Xiang-yang. Exchange Electrification Railroad Hauling Power Supply System[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2002.

收稿日期: 2007-07-30; 修回日期: 2007-09-02

作者简介:

孙晓薇 (1972-), 女, 工程师, 从事继电保护检修; E-mail: sxw9808@126.com

杨 星 (1971-), 女, 本科, 主要从事电力设计工作。