

DOI: 10.7667/PSPC152059

防范交流失压引起距离III段保护误动的措施探讨

陈水耀^{1,2}, 黄少锋¹, 裘愉涛³, 杨松伟²

(1. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206; 2. 国网浙江省电力公司检修分公司, 浙江 杭州 311232;
3. 国网浙江省电力公司, 浙江 杭州 310007)

摘要: 距离 III 段保护作为本线和相邻线路的后备保护, 动作区往往采用阻抗偏移特性。由于保护在启动后退出 PT 断线判别功能, 非故障线路距离 III 段保护在区外故障伴随交流失压时容易误动, 严重时会引起变电站母线全停。为防止距离 III 段保护误动, 从电压回路和动作特性两个方面提出防范对策: 1) 公共电压的直流电源、重动回路及切换回路均按双重化设计, 从源头上避免交流失压; 2) 根据电流值有条件开放阻抗偏移特性, 提高距离 III 段保护的容错能力。

关键词: 交流失压; 距离 III 段; 误动; 阻抗偏移; 双重化设计

Discussion on measures to prevent malfunction of distance protection III due to AC voltage losing

CHEN Shuiyao^{1,2}, HUANG Shaofeng¹, QIU Yutao³, YANG Songwei²

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;
2. State Grid Zhejiang Electric Power Corporation Maintenance Branch, Hangzhou 311232, China;
3. State Grid Zhejiang Electric Power Corporation, Hangzhou 310007, China)

Abstract: Distance protection III is backup protection of own line and adjacent line. Its action zone often has impedance offset characteristics. Because the PT breakage discriminating element will exit once the protection starts, the distance protection III of non-fault line will trip incorrectly when external fault occurs accompanied by AC voltage losing, even leading to all blackout of substation bus in serious case. To prevent malfunction of distance protection III, two measures are put forward based on voltage circuit and action characteristics: 1) DC power supply, reinitiated circuit and switch circuit of public voltage are all dual-designed which can avoid AC voltage losing from the source; 2) the impedance offset characteristics is opened conditionally according to the current value which improve the tolerance ability of distance protection III.

Key words: AC voltage losing; distance protection III; malfunction; impedance offset; dual-design

0 引言

距离保护由于其受系统运行方式影响小, 保护范围稳定, 相邻线路间保护容易配合等优点而在高压电网中得到广泛应用。但在实际应用中, 很多因素会影响距离保护的动作性能, 如电网闪断、串补电容、过渡电阻、故障限流器、系统振荡、系统谐波、特殊接线形式、电压互感器接线、PT 断线等电压回路异常会导致测量阻抗不能真实反映故障点与保护安装处的距离, 使得距离保护的选择性和灵敏性出现问题。国内不少文献^[1-9]对距离保护影响因素开展了研究, 提出了防范措施。

仅针对 PT 断线来说, 微机保护在正常运行时

已具备断线检测功能, 并闭锁距离保护, 但在保护启动后, PT 断线判别功能将退出运行。此时若再发生 PT 断线, 测量阻抗落在原点附近。当距离保护采用方向特性或偏移特性时, 保护会误动。本文通过一起实际案例分析了 PT 断线对距离 III 段保护的影响, 并从电压回路冗余设计和改进保护动作特性两个方面提出了防范措施。

1 故障案例分析

微机保护在保护未启动前若二次回路失压, 可以综合利用电压量、电流量、开关量进行 PT 断线检测, 及时发出告警信号并闭锁距离保护, 减少保护误动的可能性。常用的 PT 断线判据为

(1) 不对称失压判据

$$|U_a + U_b + U_c| > 7V \quad (1)$$

(2) 对称失压判据

$$\begin{cases} U_{a,b,c} < 12V \\ I > 0.04I_n \end{cases} \quad (2)$$

式中: $U_{a,b,c}$ 代表了三相电压; I 代表了任一相电流 (此条件也采用断路器在合位的识别)。

但在实际运行中, 微机保护因 PT 断线而误动的事件屡有发生。2007 年, 某电网 220 kV 变电站由于现场施工人员走错工作地点, 误将钢丝绳投入相邻的 110 kV 线路间隔, 先后造成线路和母线故障, 线路保护、母差保护正确动作。180 ms 后, 110 kV 母差保护中央信号光字灯端子短路, 直流馈线屏上小开关越级跳开, PT 切换屏直流电源消失, 导致 220 kV 交流小母线失压 (如图 1 所示), 该变电站多条 220 kV 电源进线距离 III 段保护误动跳闸^[10]。该变电站线路后备保护配置三段接地距离保护、四段零序电流保护。

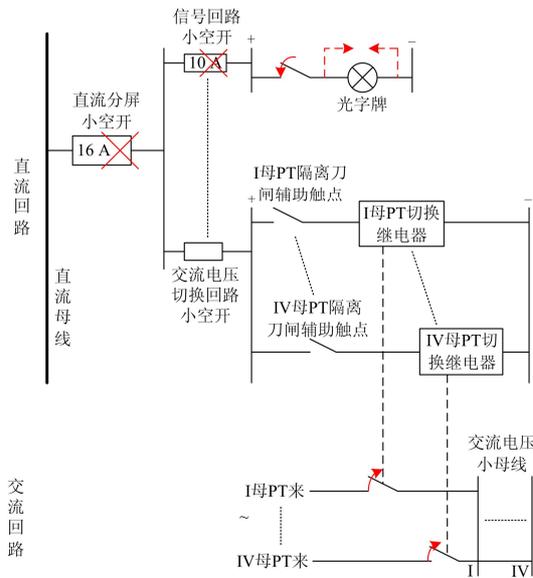


图 1 交流失压过程示意图

Fig. 1 Process diagram of AC voltage losing

根据电压和电流, 可得保护安装处的测量电阻 R 和测量电抗 X 。由于 PT 对称断线, 三相电压均为 0, 理论上: $R=0/X=0$ 。根据装置记录显示, 三条线路的阻抗实测值分别为: $R=0/X=0$; $R=0/X=0$; $R=0/X=-0.01$, 位于保护动作区内。于是距离 III 段保护动作行为符合设计要求。但这对电力系统的安全运行带来隐患。国内其他地方也曾发生过保护启动后再发生 PT 断线, 导致距离 III 段保护误动作的

事件, 严重时有可能造成变电站母线全停。

2 距离III段保护误动原因分析

从故障案例看, 相比距离 I 段、距离 II 段保护, 距离 III 段保护更容易误动。这主要取决于距离保护的動作特性。以 CSC-101A 的多边形特性为例, 在重合或手合到故障线路时, 距离保护動作特性在原多边形特性的基础上加上一个包括原点的小矩形特性 (见图 2), 以保证 PT 在线路侧时也能可靠切除出口故障, 称为阻抗偏移特性動作区。考虑到距离 III 段保护的后备性能, 距离 III 段保护始终采用阻抗偏移特性動作区 (包含原点)。这正是距离 III 段保护更容易误动的原因。

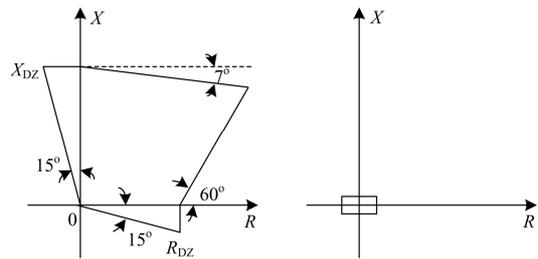


图 2 距离保护动作特性

Fig. 2 Action characteristics of distance protection

尽管各厂家距离保护动作特性设计不完全相同, 但距离 III 段保护普遍采用阻抗偏移特性。试验结果表明 (具体见表 1): 保护启动未复归时发生 PT 断线, 若断线前保护判别为正方向故障, 则所有主流保护厂家的距离 III 段保护均会动作; 若失压前保护判别为反方向故障, 大部分厂家的距离 III 段保护会动作。

而距离 I 段、距离 II 段保护动作区经方向元件把关, 不易受 PT 断线的影响。为解决距离保护出口故障的死区问题, CSC-101A 在距离保护中设置了专门的方向元件, 对于对称故障, 采用记忆电压, 即以故障前的记忆电压同故障后电流比相来判别故障方向。对于不对称故障, 采用负序方向作为方向判别依据。此外, 相间 I 段、距离 II 段还需经突变量方向元件把关。距离 I 段保护的動作条件: 方向元件判为正方向, 且计算阻抗在整定的四边形范围内; 距离 II 段保护的動作条件: 方向元件判为正方向动作或非反方向, 且计算阻抗在整定的四边形范围内; 距离 III 段保护的動作条件: 不对称故障, 方向元件判为正方向动作或非反方向, 且计算阻抗在整定的四边形范围 (包括原点) 内; 三相对称故障, 计算阻抗在整定的四边形范围 (包括原点) 内。

表 1 典型线路保护距离 III 段动作行为记录

Table 1 Distance III action record of typical line protection

故障类型	保护型号	相间 III 段
正方向故障(大于距 离 III 段定值), 保护 启动	PSL602G	动作
	WXH-801	动作
	CSC-101A	动作
	RCS-901A	动作
反方向故障(大于距 离 III 段定值), 保护 启动	PRS-752	动作
	PSL602 G ^[注 1]	--
	WXH-801	动作
	CSC-101A	动作
反方向故障(大于距 离 III 段定值), 保护 启动	RCS-901A	动作
	PRS-752 ^[注 2]	--

注 1、2: PSL602 G、PRS-752 距离 III 段保护采用记忆方向元件, PT 断线前反方向故障保护不动作。

故障案例中 PT 断线时区外故障已经切除, 虽然电压有突变, 但电流基本没有变化。距离 I 段保护、距离 II 段的突变量方向元件不满足要求, 保护不会动作。而距离 III 段保护判为三相对称故障, 且测量阻抗落在四边形范围内, 满足动作条件。这正是故障案例中距离 III 段保护误动的原因。

3 距离 III 段保护防误措施

国家电网公司 2015 年发布的变电站防全停反措^[11]要求提高双母线接线方式母线电压互感器二次回路的可靠性, 防止因母线电压互感器二次回路原因造成相关线路的距离保护在区外故障时先启动后失压, 距离保护误动导致全站停电事故。因此, 需要从源头上提高交流电压公共回路可靠性, 并提高距离保护对 PT 断线的容错能力。

3.1 交流公共电压回路冗余设计

传统变电站 220 kV 系统交流电压一般采用母线 PT 方式, 在双母线接线方式下存在交流电压公共切换回路。正常情况下交流电压回路通过 PT 隔离闸刀辅助触点重动回路接入交流小母线, 其目的是实现隔离、防止反充电, 同时通过母联开关及其隔离开关的辅助触点的重动回路实现两段母线电压并列(如图 3 所示)。早期 220 kV 变电站大多采用这种方式。这种方式采用单路直流供电, 重动采用普通的中间继电器, 如一组重动继电器损坏, 该组交流电压将失去; 在直流电源消失时, 将造成全所交流电压失去。

目前新工程设计已经对切换回路进行改进^[12], 重动采用双位置继电器, 采用单路直流供电, 在直流电源消失时, 双位置继电器触点可以保持原来的

状态, 交流电压可正常接入。但在一组 PT 检修, 电压回路并列拉开 PT 闸刀时, 如操作不当可能造成反充电, 使运行 PT 空气开关跳开造成全所交流电压失去。

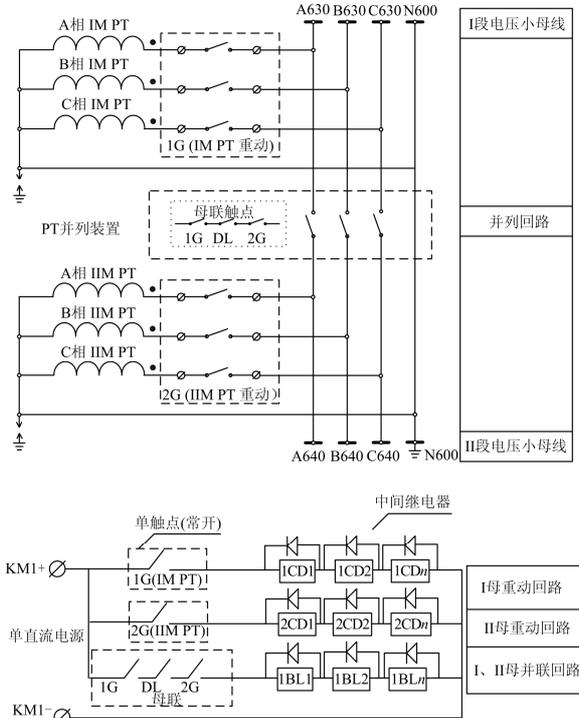


图 3 公共电压切换回路

Fig. 3 Switching circuit of public voltage

为进一步提高交流公共电压回路的可靠性, 直流电源、重动回路及切换回路均采用双重化设计, 其中重动继电器采用普通中间继电器, 两个继电器触点采用并联方式接入电压回路(如图 4 所示)。当一路直流电源消失或重动继电器损坏时, 确保不失去交流电压。

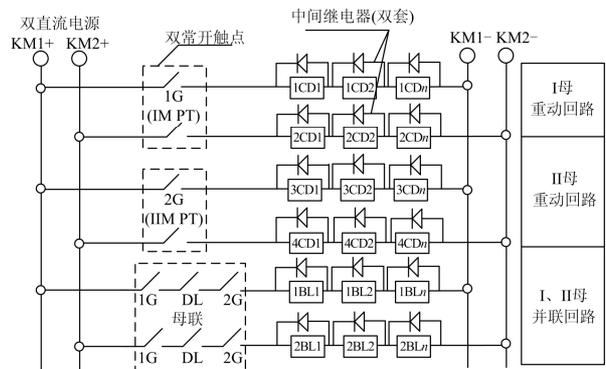


图 4 改进的公共电压切换回路

Fig. 4 Improved switching circuit of public voltage

3.2 距离 III 段保护自适应阻抗偏移特性

电压回路采取双重化设计从源头上减少交流失

压的可能性, 但并无法彻底消除距离III段保护误动的风险。如双母线接线的一组母线 PT 检修时, 往往维护接线型式不变而 PT 二次回路进行并列。若 PT 正常运行的母线发生故障, 另一条母线电源线路的距离III段保护会误动而导致母线全停。因此, 有必要从距离III段保护动作特性本身提高对 PT 断线的容错能力。

PT 断线与出口处故障时距离保护的测量电压和测量阻抗相同, 但测量电流却存在明显差异。PT 断线时测量电流为负荷电流, 而出口处故障时测量电流为故障电流。根据电流特征, 在距离III段保护中增设有条件开放阻抗偏移特性的功能(可以通过控制字投退), 即采取自适应阻抗偏移特性。若不满足式(3)的条件则保留原阻抗偏移特性, 若满足式(3)的条件则采用“反”阻抗偏移特性, 即原多边形特性的基础上扣除小矩形特性部分(不包含原点), 见图 5 所示。

$$\begin{cases} I_{\Phi} < 1.2I_n \\ T_{cx} \geq t_{dz} \end{cases} \quad (3)$$

式中, I_{Φ} 为测量阻抗进入图 2 的小矩形区内时的测量电流, I_n 为线路额定电流。 T_{cx} 为电流小于 1.2 倍额定电流的持续时间, t_{dz} 为门槛值, 按躲过区外故障切除时间整定, 可取 60 ms。

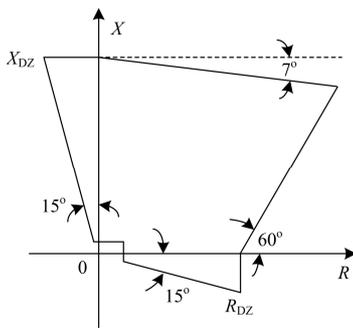


图 5 改进后距离 III 段保护动作特性

Fig. 5 Improved action characteristics of distance protection III

若区外故障伴随 PT 断线, 测量阻抗进入小矩形区后测量电流均为正常负荷电流, 不满足阻抗偏移特性开放条件, 距离III段保护不会动作。

若线路正方向出口故障, 假设距离 I 段、II 段保护均不动作。在正常运行方式下满足阻抗偏移特性开放条件, 距离III段保护延时出口。在弱电源运行方式下, 若故障电流小于 1.2 倍额定电流(见式(4)), 不满足阻抗偏移特性开放条件, 距离III段保护不会动作, 由相邻线路后备保护切除故障。对弱电源线路可退出阻抗偏移特性的有条件开放功能。

$$E/X_S < 1.2I_n \quad (4)$$

式中: E 为系统电势; X_S 为系统阻抗。

综上所述, 距离III段保护在故障时仍采用阻抗偏移特性, 保证正方向出口处故障能可靠动作, 而 PT 断线时采用“反”阻抗偏移特性, 可以有效防止保护误动。此设计思路也同样适用于采用圆特性的距离保护。

4 结论

现行规程规定^[10]: 距离III段保护作为本线和相邻线路的后备保护。但距离III段保护的保护区大, 更容易受过负荷和直流偏磁^[13-14]的影响导致保护误动。此外, 微机保护采用主后一体化设计, 距离III段保护在实际运行中基本没有正确动作的机会, 但误动的风险却很大。因此, 需要从设备选型、回路设计、动作特性等方面提高距离III段保护的可靠性:

1) 新建变电站 220 kV 线路采用线路 PT, 减少电压公共回路。传统变电站交流电压切换回路的直流电源、重动回路及切换回路均应按双重化配置。

2) 强化主保护、弱化后备保护, 新建 220 kV 及以上线路配置双套光纤差动保护, 降低对后备保护的依赖性^[15]。

3) 距离III段保护采用自适应阻抗偏移特性, 若测量阻抗位于原点附近, 根据电流值确定是否带阻抗偏移特性(包含原点), 以避免区外故障同时伴有 PT 断线时距离保护误动。

参考文献

- [1] 马慧, 张开如, 高芳, 等. 电网闪断对距离保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(17): 81-86.
MA Hui, ZHANG Kairu, GAO Fang, et al. Effect of power grid flash broken on distance protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(17): 81-86.
- [2] 陈福锋, 钱国明, 薛明军. 适用于串联电容补偿线路的距离保护新原理[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(12): 61-66.
CHEN Fufeng, QIAN Guoming, XUE Mingjun. Research on new principle of distance protection adapted to series capacitor compensated line[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(12): 61-66.
- [3] 陈学伟, 高厚磊, 向珉江, 等. 基于电子式互感器微分输出的改进 R-L 模型距离保护算法[J]. 电工技术学报, 2014, 29(6): 283-289.
CHEN Xuewei, GAO Houlei, XIANG Minjiang, et al. Improved R-L model distance protection algorithm based on differential output of electronic transducers[J].

- Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(6): 283-289.
- [4] 徐妍, 陆广香, 徐晓敏, 等. 关于工频变化量距离保护可靠性的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(20): 51-57.
XU Yan, LU Guangxiang, XU Xiaomin, et al. Research on the reliability of the distance protection using power frequency variable components[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(20): 51-57.
- [5] 黄少锋, 赵远, 申洪明, 等. 一种基于功角计算的振荡闭锁方案[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(2): 89-91, 126.
HUANG Shaofeng, ZHAO Yuan, SHEN Hongming, et al. A scheme for swing blocking based on calculation of power angle[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(2): 89-91, 126.
- [6] 师洪涛, 卓放, 杨祯, 等. 基于改进正弦调制电流注入的三相交流电源系统谐波阻抗测量研究[J]. 电工技术学报, 2015, 30(8): 257-264.
SHI Hongtao, ZHUO Fang, YANG Zhen, et al. Study of harmonic impedance measurement for three-phase AC power system based on an improved modulated current injection method[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(8): 257-264.
- [7] 邱建, 曾耿辉, 李一泉, 等. 220 kV 两相式电铁牵引站供电线路的短路计算及其保护整定原则分析[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(4): 47-53.
QIU Jian, ZENG Genghui, LI Yiquan, et al. Analysis on the short circuit fault calculation and the protection setting principles of 220 kV two-phase supply lines of electrified railway[J]. Power System and Clean Energy, 2015, 31(4): 47-53.
- [8] 李乐, 李英武, 袁野. 变电站设计中电压互感器选择有关问题分析[J]. 低压电器, 2014(8): 61-65.
LI Le, LI Yingwu, YUAN Ye. Analysis of some related selection problem about potential transformer in substation design[J]. Low Voltage Apparatus, 2014(8): 61-65.
- [9] 汪本进, 吴细秀, 徐思恩, 等. 复奉特高压直流电压二次电压异常原因[J]. 高压电器, 2016, 52(1): 7-14.
WANG Benjin, WU Xixiu, XU Si'en, et al. Investigate on the failure mechanism of the DC voltage divider for its secondary voltage jumping abnormally in Fulong and Fengxian substation[J]. High Voltage Apparatus, 2016, 52(1): 7-14.
- [10] 国家电网公司 2007 年继电保护设备分析报告[R]. 国家电力调度通信中心, 2008.
Analysis report of protective relay of the State Grid in 2007[R]. State Electric Dispatch and Telecommunication Center, 2008.
- [11] 国家电网公司防止变电站全停十六项措施(试行)[S]. 国家电网公司, 2015.
Sixteen measures to prevent substation shutdown in State Grid (trial)[S]. State Grid, 2015.
- [12] GB/T 14285-2006 继电保护和安全自动装置技术规程[S]. GB/T 14285-2006 technical code for relaying protection and security automatic equipment[S].
- [13] 柳焕章, 周泽昕. 线路距离保护应对事故过负荷的策略[J]. 中国电机工程学报, 2011, 25(31): 112-117.
LIU Huanzhang, ZHOU Zexin. Post-fault over-load maloperation countermeasure of transmission line distance protection[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 25(31): 112-117.
- [14] 郑涛, 卢婷, 杨国生, 等. GIC 引发直流偏磁对距离保护 III 段动作性能影响的分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 1-5.
ZHENG Tao, LU Ting, YANG Guosheng, et al. Analysis of the effects on distance protection zone III relays caused by DC bias induced from geomagnetic induced current[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 1-5.
- [15] 刘欣, 黄少锋, 张鹏. 相电流差突变量选相在混压同塔输电线路跨电压故障中的适应性分析[J]. 电工技术学报, 2015, 30(11): 118-126.
LIU Xin, HUANG Shaofeng, ZHANG Peng. Adaptability analysis of phase-selector based on sudden-change of phase-current-difference in cross-voltage fault occurred in mixed-voltage transmission lines[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(11): 118-126.

收稿日期: 2015-11-25; 修回日期: 2016-02-20

作者简介:

陈水耀(1976-), 男, 通信作者, 博士生, 高级工程师, 从事继电保护技术管理和检修管理工作; E-mail: chen-shuiyao@sgcc.com.cn

黄少锋(1958-), 男, 博士生导师, 长期从事继电保护和故障分析的理论研究工作。

(编辑 魏小丽)