

## 系统振荡时距离保护的对策

李小滨<sup>1</sup>, 刘凯<sup>1,2</sup>, 陈巨升<sup>1</sup>, 徐刚<sup>1</sup>, 陈淑芝<sup>1</sup>

(1. 东方电子股份有限公司, 山东 烟台 264001;  
2. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

**摘要:** 通过对高压输电线路动模实验录波数据的分析, 注意到振荡平息时, 两侧电源之间的电势角度差有时会在 $180^\circ$ 左右停留一段较长的时间, 这会导致目前常用的对称故障解锁方法失效, 导致保护误动。针对这一情况, 结合目前常用的振荡检测及解锁方法, 提出了解决方法, 通过两个电阻元件检测振荡速度, 根据振荡速度实时地改变三相故障解锁判据的延时, 较好地解决了这一问题。通过详尽的动模实验, 验证了所提方法的有效性。

**关键词:** 电力系统; 输电线路; 距离保护; 振荡闭锁; 故障开放

### Scheme of the distance protection to avoid mal-operation in swing

LI Xiao-bin<sup>1</sup>, LIU Kai<sup>1,2</sup>, CHEN Ju-sheng<sup>1</sup>, XU Gang<sup>1</sup>, CHEN Shu-zhi<sup>1</sup>

(1. Dongfang Electronics Industry Co. Ltd, Yantai 264001, China;  
2. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** Through the analysis of the dynamic model of HV transmission line recorded data, this paper points out that the angle between two source potentials of both sides of the line maybe remain as  $180^\circ$  for a relatively long time, which would fail the current swing block methods. A method is presented in this paper to solve such a problem, the swing speed is measured by the two resistance element real-timely, and the delay time of the swing unblock criterion is adjusted real-timely according to the real-time swing speed. The method is validated by the dynamic model data, simulation result shows that the presented method will not mal-operate during swing.

**Key words:** power system; transmission line; distance protection; swing block; unblock criterion

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)03-0086-04

## 0 引言

稳态下电力系统运行频率非常接近额定频率。所有发电机运行在同一个速度下, 发电机速度控制器控制电机转速使其接近于额定值。如果发生扰动, 平衡被打破, 根据电机转子自身的运动规律, 转子会加速或减速。如果一个电机比另一个转的快, 其转子角位置会超前, 慢速电机上的一部分负荷会转移到快速电机上, 转移的负荷数量决定于两电机间的角度差。超过极限后, 角度差的增大伴随着传输功率的降低, 使角度差更大, 引起系统失步<sup>[1]</sup>。

诸多文献对振荡特征进行了研究<sup>[1-12]</sup>。系统间的失步会影响继电保护。一些保护系统, 如差动继电器不受影响; 其它继电器, 如过流、方向过流、距离等会受影响。失步时, 距离继电器的测量阻抗是一个以两侧电源角度差 $\delta$ 为变量的函数。如果测量阻抗进入距离继电器动作区, 距离继电器将会动

作。因一段距离元件没有延时, 在振荡时最易动作。

电力系统失稳后, 国内一般采用切除负荷、投入水轮发电机等措施, 使系统重新进入稳定状态, 或由稳定控制设备将系统分离。为避免振荡时距离继电器误动, 线路保护中应有振荡闭锁措施。

国内常用的振荡闭锁方法是在启动 150 ms 后闭锁距离保护, 振荡中再故障, 则使用故障开放元件重新开放保护。国外的线路保护产品一般利用阻抗变化速度的差异来区分振荡与故障, 并在阻抗进入继电器动作区前闭锁距离元件, 当阻抗离开动作区后再延时开放保护。一般认为, 国外的振荡检测方法有其缺点<sup>[5]</sup>: (1) 若失步振荡周期较短, 则不能实现闭锁; (2) 暂态稳定破坏时若振荡很快发展起来, 可能来不及闭锁。

振荡后, 如果线路上发生不对称故障, 一般采用检测不平衡电流的方法。对于对称故障, 常用方法是测量振荡中心电压

$$U_{os} = U_1 \cos \phi_1 \quad (1)$$

其中:  $\phi_1$  是正序电流电压的夹角,  $U_1$  为正序电压。当  $U_{os}$  数值小时, 延时开放。国外产品的常用办法, 如果正序阻抗在停留在某范围超过了规定时间, 就解除振荡闭锁。

目前的振荡中三相故障检测方法有一个基础, 即认为振荡时测量阻抗在阻抗平面的移动速度在整个振荡周期中是相同的, 即假定  $\delta$  在一个振荡周期中的角速度是不变的, 根据这个条件来确定振荡解锁条件的延时。这个条件一般是成立的, 但也有不同的情况。动模实验中, 注意到振荡时  $\delta$  的速度并不均匀, 特别是振荡逐渐平息时,  $\delta$  可能长时间停留在  $180^\circ$  附近, 即角速度会变小。这会使得上述的振荡闭锁方法失效, 引起保护误动。

本文对此现象做了分析, 并提出了解决办法。

### 1 振荡平息时保护易误动的原因

图 1 为 500 kV、400 km 长距离双回路输电系统模型, N 厂经 500 kV 无互感双回输电线路与 L 系统相连, 线路长度为 400 km, N 厂装有 4 台发电机组, 总装机容量为 2 100 MW, N 厂经负荷变压器还接有负荷, 负荷变压器的额定容量为 1 200 MVA, 所带负荷容量为 1 000 MW, 其中电动机负荷占 65% 左右, 电阻性负荷占 35% 左右。L 系统为一地区等值系统, 有大、中、小三种运行方式, 其对应的短路容量分别为 20 000 MVA、10 000 MVA 和 3 000 MVA。

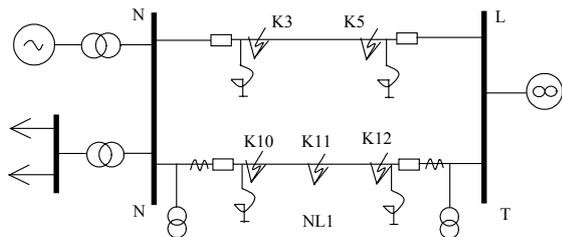


图 1 系统模型  
Fig.1 Power system model

系统稳定运行时, 功率由发电机送往系统。为考核保护在系统振荡中的保护行为, 需要采取措施, 使系统从稳态运行转入振荡状态。一种方法是增加 N 侧发电机的输入功率, 当输入功率超过稳定极限时, N 侧发电机和 L 侧等值系统间开始振荡。另一种方法, 是使系统在重负荷运行时, 断开一回线路, 系统也可以进入振荡状态。实验结束后, 需要将动模系统从振荡状态再转为稳定允许状态, 这可以通过调节发电机输入功率的办法来达到目的, 逐步减

少发电机的输入功率, 直到进入同步运行。

测试中, 发现当振荡平息时, 保护有时误动。图 2 记录了保护误动时的振荡电压电流波形。其中 UNa 表示 N 端 A 相电压, INa 表示 N 端 A 相电流, TN 表示 N 侧跳闸触点的状态。图中横坐标为采样点, 每周采样 40 点。从录波图中可以看出, 振荡周期为 1.341 s, 在 0.873 s 时保护误动。

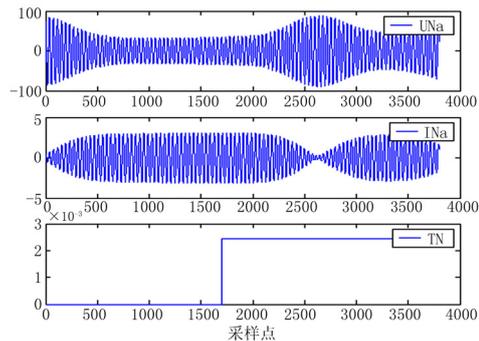


图 2 振荡时距离保护误动的波形  
Fig.2 Current and voltage waveform in swing which makes relay mal-operation

为分析误动的原因, 计算了线路两侧保护安装处的正序电压及其夹角, 绘于图 3。其中:  $U_{Na1}$  和  $U_{La1}$  分别表示 N 端和 L 端的正序电压;  $\delta$  表示两侧正序电压的角度差;  $U_{\cos\phi}$  是计算的振荡中心电压。从图 3 可以看出, 前一个振荡周期中,  $\delta$  在  $180^\circ$  附近停留了一段较长的时间。下一个振荡周期,  $\delta$  增大到  $120^\circ$  左右时再减小, 以后振荡平息。

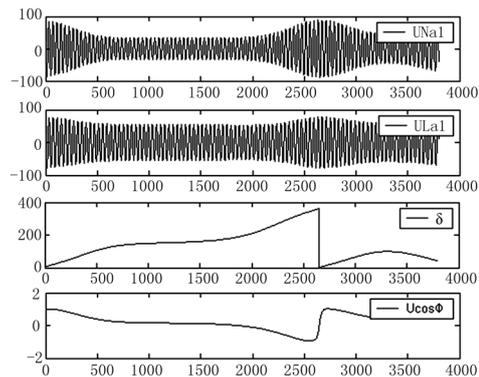


图 3 引起误动的振荡波形  
Fig.3 Line protection relay mal-operation in swing

当  $\delta = 180^\circ$  左右时, 线路中的电流最大, 和三相对称短路很相似, 计算的  $U_{os}$  也小。图 3 中的第一个振荡周期的  $\delta$  的角速度不是常数, 在  $\delta$  为  $180^\circ$  时角速度小,  $\delta$  在  $180^\circ$  附近停留时间长。在这种情况下, 目前常用的故障开放判据都会开放, 线路将被误切。例如, 对于测量振荡中心电压的判据, 当

$U_{os}$  小时，延时开放保护，据测算，即使在振荡周期长达 3 s，该判据也不会动作。但对于图 3 中的情况，虽然振荡周期为 1.3 s，但  $\delta$  在  $180^\circ$  附近停留时间长，符合开放条件的的时间约为 160 ms，会导致保护误动。国外常用的测量振荡阻抗的变化速度的方法，也会遇到同样的问题。

需要指出，并不是每次振荡平息时， $\delta$  都会在  $180^\circ$  附近作长时间停留，这与动模参数及当时功率调整有关系。如果现场运行中的保护遇到这种情况，会引起距离保护误动。

## 2 对策

如前所述，目前使用的振荡检测和故障开放方法有缺陷。本文试图在现有方法的基础上，提出一种新的振荡检测与故障开放方法，避免上述问题。

关于振荡检测，启动后 160 ms 就进入振荡闭锁的方法，线路保护会频繁的进入振荡闭锁流程，此后如果发生故障会延迟保护动作时间。相比而言，利用阻抗变化速度的差异来区分振荡与故障的方法，很有吸引力，但有时可能检测不出振荡。考虑到系统中的第一个振荡周期一般较长，本文采用双遮档线检测振荡的方法，检测出第一个振荡周期即闭锁距离保护，振荡平息后解除闭锁。

对于振荡平息时， $\delta$  在  $180^\circ$  附近长时间停留导致误动的问题。本文使用了一个阻抗双遮档线元件作为振荡进程检测元件，如图 4 所示，图中 R1、R2 是定值，Z 是测量阻抗，当测量阻抗在图中阴影区停留的时间超过一预定时间定值  $T_{os}$  时，振荡进程检测元件动作。对于对称故障，仍采用测量振荡中心电压解除振荡闭锁的原理。当振荡进程检测元件未动作时，延时 150 ms 开放振荡闭锁。振荡检测元件动作后，加长解锁判据的延时，例如，延时改为 200 ms，这是一个经验值。对于  $T_{os}$  值的选取，考虑到振荡过程中，如果振荡周期较短，采用测量  $U_{os}$  解除振荡闭锁原理的距离保护不会误动；而振荡将要平息时，振荡周期一般较长，如果  $\delta$  停留在

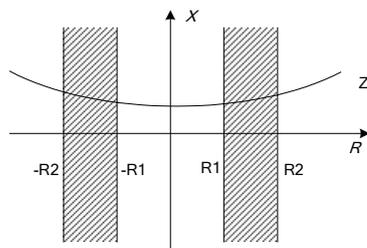


图 4 振荡阻抗轨迹图

Fig.4 The trail of measured impedance in swing

$180^\circ$  左右的时间较长，距离保护就可能误动，因此振荡进程检测元件目的是检测出振荡周期较长的振荡， $T_{os}$  的取值要结合双遮档线的电阻定值选取，一般可以取的长一些，本装置做振荡实验时，采用 400 km 线路模型，R2 躲过负荷电阻，R1 取二段阻抗定值的电阻值， $T_{os}$  选取为 60 ms，可以检测出振荡周期大于 500 ms 的振荡。

和目前广泛使用的振荡检测及解锁方法相比，本方法有以下特点：

(1) 系统发生扰动后，如果未振荡，或振荡但振荡中心未落在本线路上，保护不会被闭锁，发生故障时能快速动作。

(2) 振荡周期短时，考虑到系统的第一个振荡周期总是较长，本判据能够可靠检测出振荡，进入振荡闭锁，直到振荡平息后才解除闭锁。保护不会因检测不出振荡而误动。

(3) 振荡将要平息时， $\delta$  可能在  $180^\circ$  附近作长时间停留，保护不容易误动。

振荡后，在一个振荡周期中不同的时刻发生对称故障，保护会以不同的延时动作。如果振荡进程检测元件动作后发生对称故障，保护的動作时间有所延长。

## 3 实验验证

为考核本方法的实际效果，在动模系统上做了大量的实验。动模系统如图 1 所示。实验主要有两个目的：

(1) 系统启振过程及振荡平息过程中，检测保护是否误动。分别在 L 侧系统的三个不同容量下做了实验。

(2) 在振荡过程中，包括  $\delta$  在  $0^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $360^\circ$  附近，在三个故障点 K10、K11、K12 发生故障，检查保护是否拒动。

实验结果证明，保护在系统启振及振荡平息过程中不会误动；在  $\delta$  为  $0^\circ$ 、 $360^\circ$  附近发生故障保护能快速动作；在  $\delta$  为  $180^\circ$  附近时发生故障，因为振荡过程检测元件可能已经动作，这取决于振荡周期和振荡进程检测元件中的延时设置，保护动作时间有所延长，这与本算法的设计是一致的。

## 4 结语

本文简述了系统振荡对线路保护的影响，简述了目前广泛采用的振荡检测及解除闭锁的方法及其优缺点。通过对动模实验录波数据的分析，注意到振荡平息时，两侧电源的电势角度差有时在  $180^\circ$  附近停留一段较长的时间，这会导致目前的对称故

障解锁方法失效, 保护误动。针对这一新的情况, 结合目前常用的振荡检测及解锁方法, 本文提出了解决方法, 较好地解决了这一问题, 并对目前使用的方法有所改进。通过详尽的动模实验, 验证了本文所提方法的有效性。在振荡平息时不会误动, 在  $\delta$  为  $0^\circ$ 、 $360^\circ$  附近发生故障, 动作速度不受振荡过程检测元件的影响, 在  $\delta$  为  $180^\circ$  左右发生故障时, 动作时间有所延长。

### 参考文献

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.  
ZHU Sheng-shi. Principles and Techniques of Protective Relaying for HV Grid[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.
- [2] 金华烽, 何奔腾. 电力系统振荡闭锁判别方法的研究[J]. 继电器, 1999, 27(2): 24-25, 31.  
JIN Hua-feng, HE Ben-teng. Some Research for Discriminating Power System Oscillation[J]. Relay, 1999, 27(2): 24-25, 31.
- [3] 周泽昕, 周春霞, 王仕荣, 等. 微机线路保护装置在动模试验中出现的一些问题 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25(16): 39-44.  
ZHOU Ze-xin, ZHOU Chun-xia, WANG Shi-rong, et al. Several Problems Appeared in Dynamic Simulation Tests for Microprocessor-based Transmission Line Protective Relays[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(16): 39-44.
- [4] 毛鹏, 段玉倩, 许扬, 等. 高压线路保护中动态稳定破坏检测元件的实现[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(2): 86-89.  
MAO Peng, DUAN Yu-qian, XU Yang, et al. Realization of Dynamic Instability Detecting Relay in High Voltage Line Protection Devices[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(2): 86-89.
- [5] 孔繁鹏, 葛耀中, 周秦武. 一种区分振荡与故障的新方法电力系统自动化[J]. 电力系统自动化, 1995, 19(4): 35-38.  
KONG Fan-peng, GE Yao-zhong, ZHOU Qin-wu. A New Principle of Discrimination Between Power Swing and Short Circuit[J]. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(4): 35-38.
- [6] 杨海涛, 丁茂生, 宋新立, 等. 电力系统动态稳定机理和稳定措施分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(14): 35-39.  
YANG Hai-tao, DING Mao-sheng, SONG Xin-li, et al. Analysis on Power System Dynamic Stability Mechanisms and Stabilizing Measures[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(14): 35-39.
- [7] 高鹏, 王健全, 甘德强, 等. 电力系统失步解列综述[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(19): 90-96.  
GAO Peng, WANG Jian-quan, GAN De-qiang, et al. Review on Power System Out-of-step Separation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(19): 90-96.
- [8] 许庆强, 索南加乐, 柳焕章, 等. 基于相间故障弧光电压特征的高压线路选相元件[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(4): 65-70.  
XU Qing-qiang, SUONAN Jia-le, LIU Huan-zhang, et al. Fault Phase Selector for HV Transmission Line Protective Relaying Based on the Characteristic of the Arc Voltage Between Two Faulted Phases[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(4): 65-70.
- [9] 索南加乐, 刘凯, 刘世明, 等. 一种新的高压线路振荡选相元件[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(8): 949-953.  
SUONAN Jia-le, LIU Kai, LIU Shi-ming, et al. New Fault Phase Selector for High Voltage Transmission Line Protective Relaying During Power Swing[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2007, 41(8): 949-953.
- [10] 白杨, 高鹏, 孙光辉, 等. 中国南方电网失步解列装置的配合[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(7): 85-88.  
BAI Yang, GAO Peng, SUN Guang-hui, et al. Coordination of Out-of-step Separation Devices in China Southern Poer Grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(7): 85-88.
- [11] 林湘宁, 刘沛, 冯兴学. 自适应振荡闭锁判据的理论基础[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(6): 45-50.  
LIN Xiang-ning, LIU Pei, FENG Xing-xue. Theoretical Analysis of the Self-adaptive Blocking Criterion of Power Swings[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(6): 45-50.
- [12] 李瑞生, 索南加乐. 750 kV 输电线路的特殊问题及其对线路保护的影响[J]. 继电器, 2006, 34(3): 1-4.  
LI Rui-sheng, SUONAN Jia-le. The Special Problems of 750 kV Transmission Line and Its Influences on Relay Protection[J]. Relay, 2006, 34(3): 1-4.

收稿日期: 2009-03-04; 修回日期: 2009-05-27

作者简介:

李小滨 (1967-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事电力系统继电保护和综合自动化的研究工作;

刘凯 (1972-), 男, 博士研究生, 高级工程师, 从事电力系统继电保护研究与开发工作; E-mail: liukai587@stu.xjtu.edu.cn

陈巨升 (1962-), 男, 研究员, 主要从事电力系统继电保护和综合自动化的研究工作。