

电力系统振荡过程中序分量选相元件动作行为分析

索南加乐¹, 许庆强¹, 宋国兵¹, 李瑞生², 葛耀中¹

(1. 西安交通大学电气工程学院, 陕西省西安市 710049; 2. 许昌继电器研究所, 河南省许昌市 461000)

摘要: 对超高压输电线路微机保护所用序分量选相原理和防止振荡时误选相所用的不对称故障开放判据进行了较详细的介绍。对于振荡中心和单相接地故障在同一条长输电线路且两者之间有较远距离的情况, 从不对称故障开放判据和阻抗排除法两个方面分析了造成误选相的原因。理论分析和动模试验都证实了这种误选相现象的存在, 为以后序分量选相原理的改进提供参考。

关键词: 线路保护; 选相; 仿真; 微机保护; 振荡

中图分类号: TM773

0 引言

高压输电线路发生故障后, 准确、迅速地选择出故障相别, 是继电保护正确动作的前提。因此, 选相元件成为高压系统保护中的重要组成部分, 选相元件的准确性也是衡量继电保护装置好坏的重要标志。目前国内数字式高压线路保护主要采用相电流差突变量选相和序分量选相相结合的方法来实现故障选相。在保护启动后第 1 次选相是采用相电流差突变量选相元件, 振荡闭锁期间的选相元件由于突变量提取困难而采用稳态量选相, 一般采用序电流的分区结合阻抗比较方法构成。

序分量选相元件对相区的划分比较合理, 在一般情况下都能进行准确选相, 但在动模试验中发现, 在下述情况下序分量选相元件会误选相:

- 电力系统振荡和单相接地故障同时存在, 而且振荡中心和故障点在同一长输电线路;
- 振荡中心与故障点之间有较远的距离;
- 两侧电源电势的相角差接近 180° 。

在满足上面这些条件的情况下, 有一侧保护装置会将单相接地故障误判为另两相的相间故障。而另一侧的保护装置则由于故障开放元件不满足开放条件而将保护闭锁, 随相角差减小而延时开放闭锁装置再进行选相。误选相的那侧保护, 其误选的原因是由于不对称故障开放判据和阻抗排除法的配合不能避免该种误选相情况的发生。

本文从理论上分析误选相的原因, EMTP 仿真结果和在许昌继电器研究所的动模实验都证实了该种误选相情况的存在。

1 序分量选相原理和不对称故障开放判据

序分量选相中接地故障采用零、负序分量的相对相位关系结合阻抗选相, 不接地故障采用阻抗选相。序分量选相是根据不同故障情况下负序及零序电流相对相位来确认的, 相区的划分如图 1 所示。负序及零序电流相对相位和故障类型之间的关系如表 1 所示。

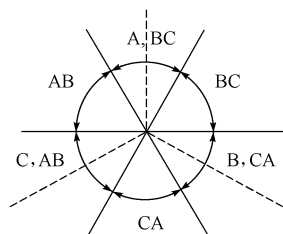


图 1 单相接地、两相接地短路时 I_{0A}, I_{2A} 的相区图

Fig. 1 I_{0A}, I_{2A} relative phase-angle figure under the single phase to ground fault and phase to phase with ground fault condition

表 1 I_{0A}, I_{2A} 相对相位和故障类型之间的关系
Table 1 Relationship between the I_{0A}, I_{2A} relative phase-angle and the faulted phases

顺序	I_{2A} 滞后 I_{0A} 的相角 / ($^\circ$)	可能的故障类型
(1)	$-30 \sim +30$	A, BC
(2)	$+90 \sim +30$	AB
(3)	$+150 \sim +90$	C, AB
(4)	$-150 \sim +150$	CA
(5)	$-90 \sim -150$	B, CA
(6)	$-90 \sim -30$	BC

表 1 中, (2), (4), (6) 为单一故障相别的相区, 直接确认为相应的相间故障, 在 (1), (3), (5) 相区包含单相和相间两种故障类型, 由于两种故障类型的相别总是不相关的, 采用相间阻抗排除法, 即如果保护装置测量到的相间阻抗值在整定的相间阻抗范围内, 则确认为相间故障, 否则, 确认为相应的单相

接地故障。采用相间阻抗排除法的原因是相间阻抗元件对于两相故障总能准确动作^[1]。

阻抗元件在振荡时的不准确动作只是发生在两侧电势相角差 δ 靠近 180° 的时刻,此时如果振荡中心落在被保护线路上,距离保护要误动。在区外故障相角差 δ 接近 0° 时距离继电器能正确测量,开放了也不会误动,但在 δ 靠近 180° 时必须闭锁保护^[2]。表 2 是对故障判别元件的要求。

表 2 对故障判别元件的要求

Table 2 Request of distinguishing the fault

故障地点	$\delta \approx 0^\circ$	$\delta \approx 180^\circ$
区外	无要求	闭锁
区内	开放	无要求

为了防止保护装置在电力系统振荡时距离元件误动作,同时要保证在振荡时发生不对称故障能及时开放保护,增加了不对称故障判别元件来闭锁保护,它的动作判据为:

$$I_2 + I_0 \geq m I_1 \quad (1)$$

式中: I_0 , I_1 和 I_2 分别为保护装置测量到的零、正、负序电流的幅值; m 为制动系数,约为 $0.5 \sim 0.7$ ^[2]。

在本文的仿真中均取 $m = 0.65$ 。

2 仿真模型参数和仿真结果

系统模型如图 2 所示,其中 M, N 为线路保护装置安装处。

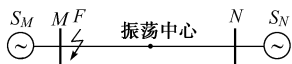


图 2 系统模型图

Fig. 2 The model of the system

M 端背后的系统参数为: $Z_{M1} = j45.149 \Omega$, $Z_{M0} = j23.321 \Omega$; N 端背后的系统参数为: $Z_{N1} = j96.262 \Omega$, $Z_{N0} = j47.480 \Omega$; 线路为 300 km , 500 kV 的超高压输电线路,采用集中耦合参数,线路参数为: $R_0 = 0.1597 \Omega/\text{km}$, $\omega L_0 = 0.6945 \Omega/\text{km}$, $R_1 = 0.0270 \Omega/\text{km}$, $\omega L_1 = 0.3032 \Omega/\text{km}$; Z_L 为线路的正序阻抗值,则接地距离保护按照 $0.65Z_L$ 整定,相间距离保护按 $0.8Z_L$ 整定^[2],并且令 $m_x = (I_2 + I_0)/I_1$ 。

利用上面的模型进行仿真,结果如下:

a. 系统发生振荡,两相角差 $\delta = 180^\circ$,线路上发生 A 相接地故障,故障点 F 距离母线 M 为 10 km 。模型中 $Z_L = 90.96 \Omega$,接地距离保护整定值为 $0.65Z_L = 59.12 \Omega$,相间距离保护整定值为 $0.8Z_L = 72.77 \Omega$ 。

用 EMTP 仿真得到 M 侧的测量结果如下: $Z_{JA} = 3.96 \Omega$, $Z_{JBC} = 71.13 \Omega$, $m_x = 0.73$ 。由此可见,

$m_x > 0.65$,满足不对称故障开放元件的动作判据,保护开放;同时, M 侧保护处测到的 BC 相间阻抗都在整定范围之内,根据阻抗排除法,测量到的相间阻抗值在其整定范围内。所以 M 侧保护会将 A 相接地故障误选为 BC 两相相间故障。 N 侧的结果为: $Z_{JA} = 75.40 \Omega$, $Z_{JBC} = 20.32 \Omega$, $m_x = 0.24$ 。由于 $m_x < 0.65$ 而将 N 侧保护闭锁,振荡时两电势相角差在不断变化,当相角差从 180° 减小到一定程度时才会使 m_x 增大到 0.65 再将保护开放。

b. 系统发生振荡,在母线 M 的出口处发生 A 相接地故障, M 侧保护装置测量到的系数 m_x 随着电势相角差 δ 变化的曲线见图 3。

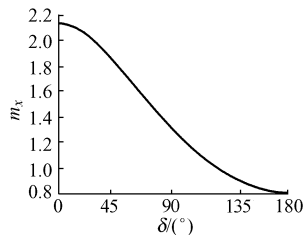


图 3 系数 m_x 随相角差的变化曲线

Fig. 3 Curve of the parameter m_x in the different angular difference

由图 3 可知,在 M 侧母线出口处发生单相接地故障,无论两侧相角差多大, M 侧保护装置总能瞬时开放。

c. 系统振荡中心在故障线路上,在相角差接近 180° 时,线路上很大部分的区域内发生单相接地故障时两侧保护是不会满足不对称故障开放条件的,需等到相角差偏离 180° 一定角度时才会将振荡闭锁开放。将系统振荡时线路上某点发生单相接地故障的临界角 θ 定义为相角差从 180° 逐渐减小到动作判据刚好满足条件时的角度(见图 4)。在该临界角范围内满足式(1),保护开放;在临界角外保护将会被闭锁。

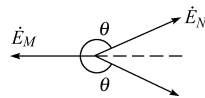


图 4 两电势相量间的临界角 θ

Fig. 4 Critical angle between the two vectors of both power supplies

输电线路不同点发生单相接地故障时,保护装置处测量到的 m_x 是不相同的。同样,两侧保护对线路上各处发生的故障,都对应有一个使刚好满足故障开放判据的临界角 θ 。图 5 和图 6 分别为 M 和 N 侧保护装置各自在线路上各点发生单相接地故障时的临界角 θ 的值,其中横坐标为线路上单相接地短路点 F 离开母线 M 的距离 l ,纵坐标为对应的

临界角 θ 。图 5、图 6 中曲线下侧表示对应图 4 中的相量 E_N 在临界角 θ 之内, 不对称故障开放元件动作判据能满足开放条件; 曲线上侧表示不满足保护开放条件。

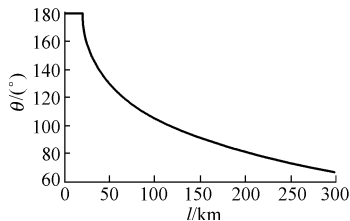


图 5 M 侧装置在线路上各点的临界角

Fig. 5 Critical angle in the different spot along the transmission line for the protective device of M side

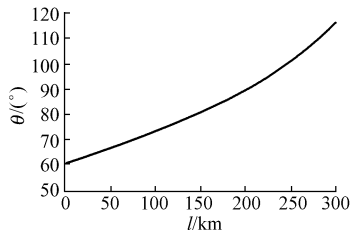


图 6 N 侧装置在线路上各点的临界角

Fig. 6 Critical angle in the different spot along the transmission line for the protective device of N side

d. 在图 5 的基础上寻找 M 侧保护装置会发生误选相的范围。图 7 中曲线 1 即为图 5 中的曲线。曲线下侧表示满足保护开放判据。

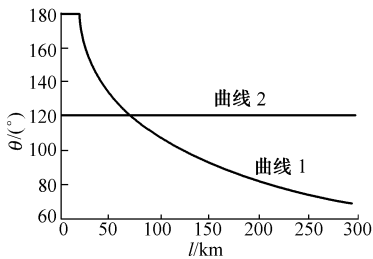


图 7 M 侧装置临界角和恰好满足相间阻抗范围的相角差

Fig. 7 Critical angle of the protective device of M side and the angular difference when the phase to phase impedance less than the setting value

随着电源电势相角差增大, 相间测量阻抗将逐渐减小。在线路上不同点发生单相接地故障, 相角差从 0° 增大到使 M 侧装置相间测量阻抗刚好等于整定值时, 可得到图 7 中曲线 2。曲线上侧表示相间阻抗小于整定值。

由此可见, 位于两曲线交点左上侧的范围内为单相接地误选为相间故障的区域。

3 误选相原因分析

有了不对称故障开放判据, 在振荡时一般情况

下不会发生误选相, 但仍存在一些问题。如图 2 所示, 振荡中心位于单相接地故障的线路上, 若故障点靠近振荡中心, 并且接地故障发生在振荡相角差为 180° 附近, 由于故障点电压的振荡分量较小, 故障产生的 I_2 和 I_0 也较小, I_1 的振荡分量很大, 线路两侧的保护装置都不会满足保护开放条件, 都需延时后保护才能动作; 若单相接地点 F 远离振荡中心, 故障电压的振荡分量较大, I_{2F} 和 I_{0F} 也会大一点, 在 N 侧保护装置中分到的 I_2 和 I_0 不大, 不会满足开放条件^[3], 而文献[3]中忽略了 M 侧的保护装置, 其分到的 I_2 和 I_0 会比较大, 由前面的仿真结果可知, M 侧保护装置完全可能满足开放动作判据。

根据仿真结果 c, 振荡中心在发生单相接地故障的线路上, 靠近保护装置处发生单相接地故障时的临界角最大, 离装置越远, 临界角越小。如果故障点与振荡中心之间离得很远, 会使得靠近故障点的保护装置的临界角为 180° , 如图 5 所示曲线的起始部分, 发生单相接地故障时无论相角差为多少, 保护都能瞬时开放, 如果故障发生时刻保护装置测量到的相间阻抗值小于整定值, 那么带来的后果是误选为相间短路。输电线路越长, 该现象越容易出现。

振荡中心在单相接地故障线路上, 保护装置不会误选相, 取决于保护开放时刻保护装置测量到的相间阻抗值是否小于整定值。装置测量到相间阻抗值的大小与两个因素有关: 一是振荡中心的位置, 在相同的相角差的情况下, 振荡中心离保护装置越近, 则测量到的相间阻抗值越小; 二是两侧电源电势间的相角差 δ , 相角差越接近 180° , 一般相间测量阻抗也越小。如果振荡中心比较靠近保护装置, 即使在相角差偏离 180° 较大时, 相间测量阻抗也可能在整定值之内; 反之, 如果振荡中心远离保护安装处, 则只能在相角差接近 180° 的较小角度范围内, 相间测量阻抗才会小于其整定值。在系统中, 线路发生单相接地故障时, 另外两相之间的相间测量阻抗基本不受单相接地的影响, 而仅受到两侧电源电势相角差的影响。因此, 图 7 中的曲线 2 是一条几乎平行于横坐标的直线。

不对称故障开放判据的存在, 将使得电势相角差必须小于临界角 θ 后才能启动保护装置。如果相角差大于 θ , 则保护要延时动作。现在来估计动作延时的大概数值, 以临界角 90° 、系统振荡频率 2 Hz 为例, 则计算得到最大延时为 250 ms。临界角越大, 最大延时越长; 同样, 最大延时也随着振荡频率的减小而增大。

4 结语

本文对动模试验中超高压输电线路所用序分量

选相元件存在的问题进行了详细的阐述。分析了振荡中心位于单相接地故障所在的线路上,而且振荡中心与故障点有较远的距离时,保护装置可能发生误选相的原因。输电线路越长,发生误选相的可能性越大。系统振荡时由于不对称故障开放判据的约束,使得保护装置将延长动作时间。理论分析和仿真结果表明,在不对称故障开放判据和阻抗排除法结合的情况下,不能排除该种误选相现象发生的可能性,为以后选相元件的改进创造条件。

参 考 文 献

- 1 徐振宇,杨奇逊,刘万顺,等(Xu Zhenyu, Yang Qixun, Liu Wanshun, et al). 一种序分量高压线路保护选相元件(A Sequence Fault Phase Selector for Transmission Line Protective Relay). 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE),1997,

17(3):214~216

- 2 朱声石(Zhu Shengshi). 高压电网继电保护原理与技术(The Principle and Technique of High Voltage Network Protection). 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press) 1995
- 3 许继集团有限公司(Group of Xuchang Relay). WXH-801/802 数字式微机线路保护装置(The Setting of WXH-801/802 Digital Microprocessor-based Line Protection). 2000

索南加乐(1960—),男,教授,博士生导师,主要从事电力系统继电保护的的教学和研究工作。E-mail:suonan@263.net

许庆强(1976—),男,博士研究生,研究方向为电力系统输电线路故障选相和方向元件。E-mail:q-q_xu@hotmail.com

宋国兵(1972—),男,博士研究生,研究方向为电力系统同杆双回输电线路保护。E-mail:song.gb@sohu.com

ANALYSIS ON THE OPERATING CHARACTERISTIC OF THE SEQUENCE-COMPONENT FAULT PHASE SELECTOR DURING POWER SWINGS

Suonan Jiale¹, Xu Qingqiang¹, Song Guobing¹, Li Ruisheng², Ge Yaozhong¹

(1. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

(2. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)

Abstract: In the paper, the theory of sequence-component fault phase selection and the criterion for the asymmetry fault during the power swing are presented in detail, which are used in EHV microprocessor-based transmission line protection. When the swing center lies in the fault line and the center is far from the fault point, the breaker will trip incorrectly. The reasons why the phenomenon may occur are analyzed considering the criterion opening condition for the asymmetry faults and the impedance excluding method. The fault phase selection characteristic is approved from the theory and the dynamic simulation tests. The content explained above is for the improvement of the sequence-component phase selector.

This project is supported by XUJI Bounty of China Electricity Fund.

Key words: line protection; selecting phases; simulation; microprocessor-based protection; oscillation