

高压线路非全相运行对距离保护的影响

邹力, 苗世洪, 刘沛

(华中科技大学电气与电子工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 电力系统非全相运行时对距离保护有较大影响。两相运行期间距离元件性能将恶化, 应将其闭锁; 但两相运行时健全相仍可能发生短路, 此时保护应能准确切除健全相的区内故障。对两相运行工况及其复故障条件下距离保护的動作行为进行了仿真分析, 探讨了基于故障分量距离继电器的解决方案, EMTP 仿真结果证明了该方案的有效性。

关键词: 非全相运行; 距离保护; 故障分量

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2003)05-0001-04

1 引言

目前的超高压线路距离保护装置大都具有选相元件, 同时配合单相或综合自动重合闸, 可以实现选相跳闸。这样系统运行中有许多原因会造成非全相运行。如输电线路一相断线或在单相重合过程中, 都将出现短时间两相运行状态。有时为了保证向用户连续供电, 在系统允许条件下, 线路亦可较长时间(数小时)两相运行。两相运行时, 由于系统稳定性相对较差, 线路两端电势大小和相位发生变化; 同时系统因对称性遭到破坏将出现零序、负序分量^[1]。因此, 反映输电线一侧电气量大小和相位关系的比相式相间距离元件和同时还要反映零序电流分量的接地距离元件都会受到其影响。本文对两相运行工况及其复故障条件下距离保护的動作行为进行了仿真分析, 探讨了相应的解决方案, EMTP 仿真结果证明了该方案的有效性。

2 两相运行时阻抗继电器的動作行为分析

2.1 两相运行时的各序电流、电压

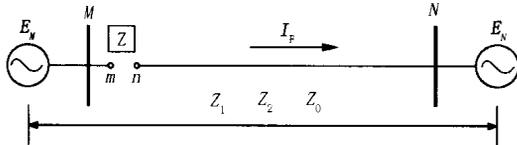


图1 双端电源系统结构图

Fig. 1 Configuration of two-source system

用图1所示两侧电源系统的两相运行为例分析有关电量的计算, 保护安装处发生A相断线时的序网图如图2所示。电流的正方向为自母线流向线路时为“+”, 反之则为“-”。

图中:

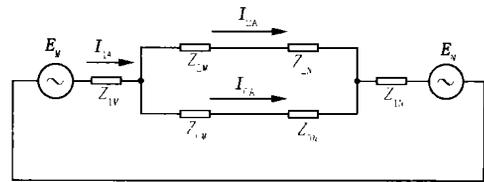


图2 系统两相运行序网图

Fig. 2 System sequential diagram in 2-phase condition

$$Z_1 = Z_{1M} + Z_{1N} \text{ 为正序阻抗;}$$

$$Z_2 = Z_{2M} + Z_{2N} \text{ 为负序阻抗;}$$

$$Z_0 = Z_{0M} + Z_{0N} \text{ 为零序阻抗。}$$

且令线路正序阻抗和负序阻抗相等, 并假定各序阻抗角相等。正常运行时线路负荷电流

$$I_F = \frac{E_M - E_N}{Z_1}$$

两相运行时各序电流分别为:

$$I_{A1} = \frac{E_M - E_N}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)} = I_F \cdot \frac{Z_2 + Z_0}{Z_2 + 2 Z_0}$$

$$I_{A2} = - I_{A1} \cdot \frac{Z_0}{Z_2 + Z_0} = - I_F \cdot \frac{Z_0}{Z_2 + 2 Z_0}$$

$$I_{A0} = - I_{A1} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0} = - I_F \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + 2 Z_0}$$

假设保护的电压互感器装设在线路侧, 则保护安装处负序和零序电压为(以M侧为例):

$$U_{An} = - I_{An} \cdot Z_{nm} \quad (\text{其中 } n=0, 2)$$

而保护范围末端的正序补偿电压为:

$$U_{A1} = E_M - I_{A1} \cdot Z_{1zd}$$

以上分析的一个重要结论是: 线路两相运行时, 产生的零序、负序电压电流分量的大小与负荷电流大小成正比, 也就是说两侧电源相位差越大, 非全相运行产生的不对称分量越大, 影响也越严重。

2.2 两种距离元件的两相运行分析

常规分析方法是: 将上面求出的继电器安装处

的各序电流和电压(或补偿电压)代入用序分量表示的阻抗继电器动作方程中,从而得到非全相运行时继电器的电压相位特性、阻抗特性或其它特性。

线路两相运行时断开相(这里是 A 相)母线电压与该相电势相等。而断开相线路上的电压由两部分组成:一是由健全相电压通过相间电容耦合产生的;一是由健全相负荷电流通过相互感产生的^[2]。而线路电压与该相电势的相位差可能接近 180°。如果电压互感器接在母线上,在两侧电势相位差较小时两类距离继电器都不会误动作。

文献[1]在复数平面上给出了具有圆特性的相间方向阻抗继电器在两相运行时的振荡动作特性轨迹,如图 3 所示。图中把 $m = |E_M/E_N| = 1$ 时的振荡阻抗随两侧电势相位差变化的轨迹 OO' 画在同一平面上。

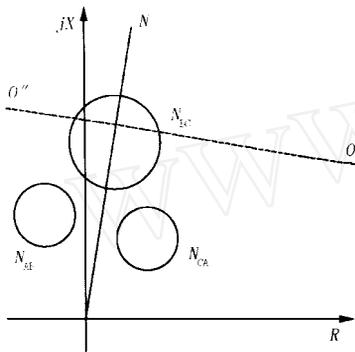


图 3 相间距离继电器两相运行时的振荡特性

Fig. 3 The oscillation characteristics of phase to phase distance relay in 2-phase running condition

图中, N_{AB} 、 N_{BC} 、 N_{CA} 分别是三个相间方向距离继电器的非全相振荡特性。可以看出:当 A 相断开时,与断开相有关的 AB 相和 CA 相继电器在非全相振荡时的误动区域很小,而健全相(BC 相)继电器在两端电势角摆开较大时有可能误动。图 4 给出了具有圆特性的接地方向阻抗继电器在两相运行时的振荡动作特性轨迹,其中 N_C 和 N_B 类似未给出。显然,非断开相(B、C 相)继电器比相间阻抗继电器更容易误动。另外,当电压互感器接在线路上时,由于线路电压与该相电势相位差接近 180°,断开相(A 相)电流虽为零,但 $I_A + K3I_0$ 并不为零,断开相(A 相)的接地阻抗继电器也可能误动。

2.3 仿真模型

仿真模型为一条 500 kV、340 km 长距离双电源输电线路 MN,如图 1 所示。线路参数源于华中电网平武线,模拟线路由 10 个型等值电路串联而

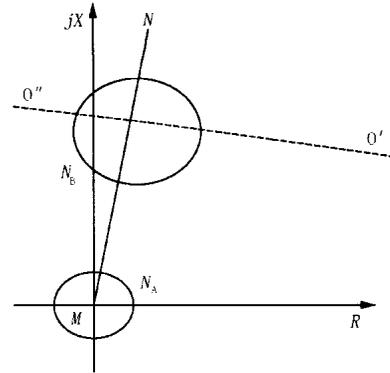


图 4 接地距离继电器两相运行时的振荡特性

Fig. 4 The oscillation characteristics of phase to ground distance relay in 2-phase running condition

成。线路参数如下:

$$\begin{aligned}
 X_1 &= 0.2783 \text{ } \Omega/\text{km}, & R_1 &= 0.027 \text{ } \Omega/\text{km}, \\
 C_1 &= 0.0127 \text{ } \mu\text{F}/\text{km}, & X_0 &= 0.6494 \text{ } \Omega/\text{km}, \\
 R_0 &= 0.1948 \text{ } \Omega/\text{km}, & C_0 &= 0.009 \text{ } \mu\text{F}/\text{km}, \\
 Z_{MS1} &= Z_{NS1} = 2.534 + j200.46 \text{ } \Omega, \\
 Z_{MS0} &= Z_{NS0} = 1.121 + j67.23 \text{ } \Omega,
 \end{aligned}$$

仿真过程中考虑了两侧电源电势夹角的变化,相电压取自母线侧。

表 1 两相运行时的零序、负序电流及健全相距离元件的测量阻抗

Tab. 1 Negative-sequence, zero-sequence currents and estimated impedance in 2-phase condition

	\angle	0	- 30	30	- 60	60
零序电流/A		34.54	139.48	134.96	216.38	256.47
负序电流/A		24.67	99.45	96.28	185.48	183.88
Z_{BC}	Z/	4547.4	1098.8	1126.4	540.8	538.2
	\angle /°	- 87.6	- 21.7	- 161	- 21.3	- 162
Z_B	Z/	3759.7	958.7	884.3	493.9	395.1
	\angle /°	- 74.4	- 7.2	- 148	- 4.8	- 149
Z_C	Z/	3849.8	885.0	985.0	409.6	486.7
	\angle /°	- 102	- 34.0	- 178	- 32.1	178

表 1 中给出了母线 M 侧 A 相断开后零序、负序电流和 M 侧 BC 相相间及 B、C 相接地距离元件的测量阻抗值。其中 \angle 是 E_N 领先于 E_M 的角度。可以看出,随着两侧电势角增大,线路零序和负序电流逐渐增大,两类继电器的测量阻抗均迅速减小。当测量电压取自母线侧时,健全相 B、C 相的相间阻抗和系统全相运行时的测量阻抗基本一致,因此这种情况下,接地距离元件所受影响更大一些。特别当

继电器处于送电侧时,由于测量阻抗很接近第一相限,而其幅值又相对较小,很有可能落入某些接地距离继电器的 I 段动作区内。

3 两相运行又发生短路时阻抗继电器的动作行为分析

由以上分析可知,两相运行期间这两种距离元件性能都将恶化,应将其闭锁。但是,两相运行时健全相仍可能发生短路,有必要进一步分析这种复故障情况下的元件动作行为。

对非全相运行的同时又发生短路的复故障情况,阻抗继电器动作行为的分析仍可采用和上一节同样的方法,只是复故障条件下,继电器安装处测量到的各序电流 I_{A1} 、 I_{A2} 、 I_{A0} 和补偿电压 U_{A1} 、 U_{A2} 、 U_{A0} 应采用双口网络方法进行计算求出。限于篇幅,具体推导从略。

两相运行健全相又发生两相短路或两相短路接地时,只要相电压取自母线侧,相间方向阻抗继电器能正确动作。事实上,对于具有圆特性的相间方向阻抗元件来说,在两相运行时仍能够正确测量距离。然而,在两相运行健全相又发生单相接地短路时,由于零序电流的相位和大小受两相运行(短路前)分量的影响,接地方向阻抗继电器不能正确测量距离。

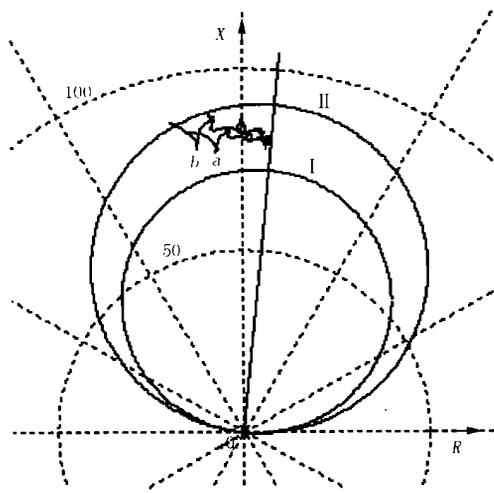


图5 两相运行又发生单相接地短路时接地距离继电器的测量阻抗

Fig. 5 Estimated impedance of phase-to-ground distance relay when fault occurs in 2-phase condition

图5中的曲线a是 $\alpha = 0$ 时M侧A相断开后线路I段整定点(线路全长80%)处发生B相单相接地短路后5个周内B相接地距离元件的测量阻抗。显然,其测量阻抗已经远远落在I段整定圆以外,继

电器要拒动。曲线b是 $\alpha = -30^\circ$ 的情况,可以看出当继电器处于送电侧时拒动情况更加严重。仿真表明, $\alpha = 0^\circ$ 和 $\alpha = -30^\circ$ 时在I段附近短路时接地距离继电器的暂态超越分别为-9%和-13%,而发生B、C相间短路时相间距离元件能比较正确地反映线路正序阻抗,这里不再赘述。

4 对两相运行时方向阻抗继电器的改进

为了使两相运行的线路不失去保护,有必要对非全相运行又发生短路的复故障时的方向距离元件、尤其是接地距离元件进行改进,以确保非全相运行时保护不误动作、健全相区内短路时保护可靠动作。

系统发生故障时,在假定系统参数不发生变化的前提下(在故障后的短时间内是允许的)可用叠加原理分析故障网络,即发生故障时的故障状态可视为非故障状态和故障附加状态的叠加。故障网络内任一点m的电压和电流都可表示为

$$u_m = u_{mfg} + u_{mg}, \quad i_m = i_{mfg} + i_{mg}$$

其中, u_{mfg} 、 i_{mfg} 是令网络内所有电势为零、只有故障点电动势单独作用下产生的电压和电流,也就是故障分量。而非故障状态包括正常运行、系统振荡等,当然也可以是两相运行。因此,两相运行又发生健全相的单相接地短路时,可以提取相电压、相电流和零序电流的故障分量构成故障分量接地距离继电器。

目前运行比较成熟的工频变化量距离继电器其保护信息就是取自工频的故障分量。设 Z_{zd} 为距离元件整定阻抗, U_z 为整定门坎,一般取故障前补偿电压,则工频变化量距离继电器的动作方程为^[3]:

$$|U_{opg}| > |U_z|$$

对于接地距离继电器,补偿电压:

$$U_{opg} = U_{\phi_g} - (I_{\phi_g} + K3 I_{0g}) Z_{zd}$$

经过简单的推导,满足下式则为正方向区内故障,继电器动作,否则为正方向区外故障:

$$|Z_s + Z_{zd}| > |Z_s + Z_F|$$

式中: Z_F 是阻抗元件的测量阻抗, Z_s 是保护侧的系统阻抗。上式对应的动作特性如图6所示,该特性是以 $-Z_s$ 末端为圆心、以 $|Z_s + Z_{zd}|$ 为半径的圆。按照类似方法可对反向故障时的动作特征进行分析,其结果表明,该元件具有明确的方向性。显然,由于取用了故障分量,该元件不受非故障状态即两相运行状态的影响。

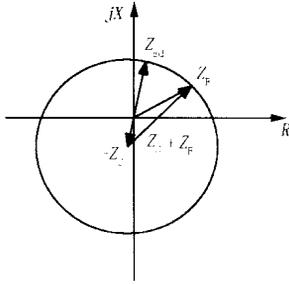


图6 正向短路时工频变化量阻抗继电器的动作特性

Fig. 6 The characteristics of fault component distance relay for forward direction fault

具体实现方法是:非全相运行时,投入反映两个健全相相电流突变量的启动元件。该元件动作后,再投入方向相间距离元件和故障分量的接地距离元件,分别计算两个健全相对地及两个健全相相间阻抗,任一个落入动作范围内,则认为健全相发生短路,跳开两健全相。故障分量提取的一般方法为:

$$i_g(k) = i(k) - i(k - nN)$$

式中: N 为每周采样点数。需要说明的是,周波数 n 一般不宜取太大。这里只有阻抗段设有基于故障分量的距离继电器,段之外的短路仍由常规方向阻抗继电器测量,因此,为了保证选择性应适当增大延时。另外,为了保证复故障时相间距离继电器的方向性,还应设置正序故障分量的方向元件。

表2 工频变化量接地距离继电器动作情况

Tab. 2 Operating records of fault-component distance relay in 2-phase running condition

短路点	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
$ U_{opmax} $	520.3	500.4	480.5	477.6	463.3
短路点	60 %	70 %	80 %	90 %	- 10 %
$ U_{opmax} $	426.9	413.8	392.6	384.1	313.8

仍然以 M 侧 A 相断开后发生 B 相单相接地的情况为例,研究 M 侧的工频变化量距离元件的动作情况,取一个周波的故障分量。当距离元件段整

定在线路全长85%处且 $\alpha = 0^\circ$ 时,有 $|U_z| = 385.7 \text{ kV}$,对于线路各点发生的短路,继电器均能正确动作,如表2所示。表中-10%表示反方向10%处; $|U_{opmax}|$ 是短路后一个周波内补偿电压故障分量幅值的最大值,单位是kV。仿真表明在复故障的情况下,当 $\alpha = 0$ 时,继电器在线路全长80%附近的暂态超越约为1.3%, $\alpha = -30$ 和 $\alpha = 30$ 时暂态超越分别为3.6%和2.8%,同常规距离继电器相比性能有了较大改善。

5 结论

系统两相运行将对系统稳定产生较大扰动,同时会产生较大的零序、负序分量,将使方向阻抗继电器的性能恶化。而两相运行健全相又发生短路的复故障情况下,常规的接地距离继电器不能正确测量距离。采用基于故障分量的阻抗继电器并加设故障分量的正序方向元件,可以大大改善复故障情况下继电器的性能,能够正确区分区内外短路。

参考文献:

- [1] 高中德. 超高压电网继电保护专题分析[M]. 北京:水利电力出版社,1990.
- [2] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京:电力工业出版社,1981.
- [3] 刘世明,林湘宁,杨春明. 工频变化量距离继电器的统一表达方式[J]. 电网技术,2002,(5):23-27.

收稿日期: 2002-11-13

作者简介:

邹力(1978-),男,硕士研究生,研究方向为微机继电保护和DSP在电力系统中的应用;

苗世洪(1963-),男,副教授,研究方向为电力系统继电保护、电力系统控制和DSP在电力系统中的应用;

刘沛(1944-),女,教授,博士生导师,研究方向为继电保护及变电站自动化。

Influence of 2-phase work condition of high voltage transmission line on distance protection relay

ZOU Li, MIAO Shi-hong, LIU Pei

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The operating characteristics of distance elements would be deteriorated in 2-phase work condition and the relay therefore should be disabled; yet fault of the two sound phases within the protective zone should be removed correctly. A scheme based on fault component is given in this article after an analysis of the operating characteristics of distance relay during 2phase running. The results of digital simulation using EMTP prove its validity.

Key words: 2-phase running; distance relay; fault component