

微机距离保护比相判据的完善性研究与应用

刘一江, 易理刚

(湖南大学电气系, 湖南 长沙 410082)

【摘要】 具有新判据的距离比相元件与选相元件配合, 能够获得理想特性, 全新的比相原理是新型距离继电器的主要特色。文章讨论了由于电力系统负载不对称系统各阻抗角不相等的条件下, 如何消除比相判据中的动作死区和“分段漂移”; 当系统发生三相对称短路时, 比相方式缺陷的改进措施。

【关键词】 微机距离保护; 比相判据; 系统调节; 改进措施

1 引言

理想的距离保护能够保证区内短路时正确动作, 区外短路时不动作, 短路与振荡同时发生时, 仍能正确工作, 且动作特性不受短路处过渡电阻大小的影响, 也不受系统结构变化和运行方式变化的影响。文献^{[1][2]}分别提出了一种具有新判据的接地距离继电器和具有新判据的相间距离保护。新判据能够保证故障相的距离比相元件具有理想特性。因此, 这种距离比相元件与理想的选相元件配合, 将使距离保护的性得到很大改善。但是, 由于电力系统是一个参数与状态都不断变化的复杂的动态系统, 其理想特性至少应受到以下三方面情况的限制:

1) 由于系统负载的不完全对称, 使得系统各阻抗角不可能完全相等, 产生不平衡的零序、负序分量, 造成保护区末端正常和短路故障发生在保护区末端或经高阻接地时出现比相判断错误或判断不出来的情况;

2) 不平衡零序、负序分量影响分段精度和使保护产生“分段漂移”的情况;

3) 发生同时三相对称短路故障判据无法判断的情况。

由于系统的不对称负载情况, 使得新型距离比相判据存在一定范围的动作死区。文献^[3]对新型距离继电器比相条件作了改进, 以 U_R 为轴线将保护区分为 2 对等的两个不判区, 以此来避免误动作, 但却形成了线路末端的正反两个方向上判断死区。

本文在对比相判据和选相元件原理分析的基础上, 利用对称分量法, 讨论了系统不对称负载情况下零序、负序分量的存在和影响, 提出了比相方式的改进措施。该措施利用计算机的实时处理能力, 采用自适应系统调节的方法来消除正常情况, 获取故障情况的零序、负序电流分量。

对于三相对称短路发生的情况, 本文在对电力系统对称三相原理分析和文献^[2]的基础上, 利用短路三相对称的特点, 推导出与文献^[2]相类似的, 以相应的 $-jI_C$ 、 $-jI_A$ 和 $-jI_B$ (实际量) 代替文献^[2]对应 jI_{C2} 、 jI_{A2} 和 jI_{B2} 为参考向量的新判据。

动模试验证明, 该方法具有很好的实用性。

2 原理分析

根据文献^[1], 分相式接地距离继电器动作判据比较量为:

$$A \text{ 相: } U_P = U_A, U_R = I_0, U_A = U_A - (I_A + 3KI_0)Z_d \quad (1)$$

$$B \text{ 相: } U_P = U_B, U_R = I_0, U_B = U_B - (I_B + 3KI_0)Z_d \quad (2)$$

$$C \text{ 相: } U_P = U_C, U_R = I_0, U_C = U_C - (I_C + 3KI_0)Z_d \quad (3)$$

式中, U_P 表示极化电压; U_R 表示参考电压; U ($=A, B, C$) 表示补偿电压; U 和 I 分别表示保护安装处的相电压和相电流; I_0 表示保护安装处零序电流; Z_d 为整定阻抗。

根据文献^[2], 分相式相间距离继电器动作判据比较量为

$$AB \text{ 相 } U_P = U_{AB}, U_R = jI_{C2}, U_{AB} = U_{AB} - I_{AB}Z_d \quad (4)$$

$$BC \text{ 相 } U_P = U_{BC}, U_R = jI_{A2}, U_{BC} = U_{BC} - I_{BC}Z_d \quad (5)$$

$$CA \text{ 相 } U_P = U_{CA}, U_R = jI_{B2}, U_{CA} = U_{CA} - I_{CA}Z_d \quad (6)$$

式中: U 、 I ($=AB, BC, CA$) 分别表示保护安装处的相间电压和相差电流 (也称两相电流差); I_2 ($=A, B, C$) 表示保护安装处 相的负序电流。

新型距离保护动作判据为: 当极化电压 U_P 与

补偿电压 U 分别落在参考电压 U_R 两侧时,距离保护动作;当 U_P 与 U 落在 U_R 同一侧时,距离保护不动作。

根据文献^[3],在电力系统各阻抗角相等的条件下,短路处过渡电阻两端的电压差与参考电压 U_R 同方向;当发生区内短路时,极化电压 U_P 与补偿电压 U 总是分居参考电压 U_R 的两侧;当 U_P 超前 U_R 时, U 落后 U_R ;当 U_P 落后 U_R 时, U 超前 U_R 。具体 U_R 和 U 幅值的大小和相位的多少,无关紧要。因此,不必象其他距离保护判据那样,需要作各种相量图分析和测量阻抗(支路阻抗)特性分析;当发生正向区外故障或者反方向短路时, U_P 与 U 总是落在 U_R 同一侧,距离保护不动作,因此,距离保护具有明确的方向性。

根据文献^[4],本文用相电流差突变量选相,以此来判别故障类型和相别。

接地与否判别,用 I_0 和 I_0 ,

当 $(I_0 - I_1) > (I_0 - I_2)$ 时,判为发生接地短路。

单相接地判别,即在有 I_0 时,

$$\left. \begin{aligned} I_B - I_C &, \text{判为 A 相单相接地 } K^{(A)} \\ I_C - I_A &, \text{判为 B 相单相接地 } K^{(B)} \\ I_A - I_B &, \text{判为 C 相单相接地 } K^{(C)} \end{aligned} \right\} (7)$$

当已判明为接地短路,但三个单相接地判据都不符合时,即判为两相接地短路。

两相短路相别判别,采用下式:

$$\left. \begin{aligned} (I_A > I_B) \quad (I_C > I_B), & \text{判为 AC 短路} \\ (I_B > I_A) \quad (I_C > I_A), & \text{判为 BC 短路} \\ (I_B > I_C) \quad (I_A > I_C), & \text{判为 AB 短路} \end{aligned} \right\} (8)$$

当 I_A 、 I_B 、 I_C 都产生突变时,判为三相短路。

这样,新型距离比相判据与理想的相电流差突变量选相元件配合,将使距离保护的性能得到很大的改善。

从上述原理判据可以看出,当选相元件确定故障相后,利用故障相电流、电压进行比相,以此来进行系统故障的判断。而比相判断的依据,是前述电力系统各阻抗角相等的条件下,短路处过渡电阻两端的电压差与参考电压 U_R 同方向,以及发生区内短路时,极化电压 U_P 与补偿电压 U 总是分居参考电压 U_R 的两侧,当发生正向区外或反方向短路时,

U_P 与 U 总落在 U_R 同一侧。

但是,在实际电力系统中,由于系统负载的不对称(正常情况下,允许有 10%~20% 的负载不对称运行),造成各阻抗角不可能完全相等,使得理想距离比相判据的应用受到一些限制。虽然,由于负载不对称产生的零序、负序分量很小,对保护前段的影响小,但由于这个不平衡电流的存在,使保护末端有可能在正常情况下,出现“假故障”现象。特别是保护安装在受电侧,短路发生在保护区末端或经高阻接地时,可能出现三个相量 U_P 、 U_R 、 U 之间的夹角都很小,采用文献^[3]的改进判据后也不满足区内短路动作、区外短路不动作的条件。此外,由于负载不对称产生的零序、负序电流分量的影响,还有可能产生保护的“分段漂移”。为解决这些问题,需对系统不对称负载情况下,零序、负序分量的存在和影响进行分析,在此基础上,进一步改进和完善新型距离继电器比相判据。

另外,从原理分析中可知,比相判据中用的参考向量是零序故障分量和负序故障分量,对于三相对称短路同时发生,既无零序故障分量,也无负序故障分量的情况,判据无参考向量,因而需要寻找新的判据。

3 不平衡零序、负序分量的存在和影响

前文已述,在系统不对称负载情况下,由于三相负载的不平衡,必然会有负序和零序分量产生。零序负序分量的存在使距离继电器比相判据出现动作死区,且由于系统负载不对称程度不定和未知,动作死区的范围事先无法确定,使得运用判据时会遇到一些困难。若动作死区范围定得太小,则保护区末端正常情况就有可能被判为故障,如图 1(a);若动作死区范围定得太大,则保护末端或经高阻接地故障可能被封锁而判断不出来,如图 1(b)。不平衡零序、负序分量对比相判断的影响示意图,可用图 1 表示(以不平衡零序分量的影响为例)。

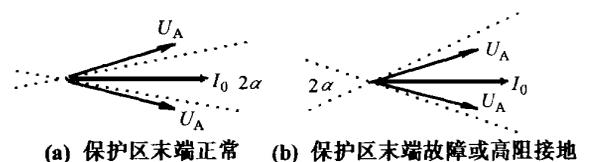


图 1 不平衡零序分量对 A 相电压向量的影响

注:图中虚线区域为文献^[3]的动作死区。

根据比相原理, U 与 U_P 之间的夹角取决于三

段阻抗和正常故障情况对应电流、电压的大小。对于某一特定的系统,可以假定系统各阻抗角相等的条件下,正常或故障情况, U 与 U_p 之间总可以表现为对应的三段夹角范围,并且具有明确的界限。但是,由于系统负载不对称产生的零序、负序电流分量不定性的影响,造成了保护段与段之间分界点的往返摆动,破坏了段与段之间的界限和分段精度,而使保护产生“分段漂移”。

4 对称分量法及零序、负序分量影响的消除

根据对称分量法,一组不对称的三相系统总可以分解成同频率的三组对称的三相系统,即正序系统、负序系统和零序系统。这里,正序系统指 A、B、C 三相相序,前者依次领先后者 120° 相位;负序系统指 A、B、C 三相相序,前者依次落后后者 120° 相位;零序系统是指 A、B、C 三相同相位。对于三相电流的零序系统:

$$I_A^0 = I_B^0 = I_C^0 = \frac{1}{3} (I_A + I_B + I_C) \quad (9)$$

另外, I_A^0 也可由微机采样直接获得。对于三相电流的负序系统 $I_A^-、I_B^- = a I_A^-、I_C^- = a^2 I_A^-$ ($a = e^{j120^\circ}$),根据负序分量的基本公式:

$$I_A^- = \frac{1}{3} (I_A + I_B e^{-j\frac{2}{3}} + I_C e^{j\frac{2}{3}}) \quad (10)$$

可得: $I_B^-、I_C^-$ 。

为了消除由于系统不对称负载所产生的零序、负序电流分量对比相判据的影响,本文采用自适应系统调节方式。为了准确捕捉故障时刻的零序和负序电流,消除非故障时由于系统不对称产生的零序、负序电流分量对系统故障的影响,首先要确定故障发生时刻。在此采用电流突变量作为启动标志,设突变量产生时为 n 时刻,则故障时刻的零序电流为 I_{0n}, I_{0n-1} 为故障前时刻的零序电流,故障前时刻采样记忆电流为 I_{0n-1} 。调节后,用于比相的非故障零序电流为 I_0 ,非故障条件下系统调节零序电流为

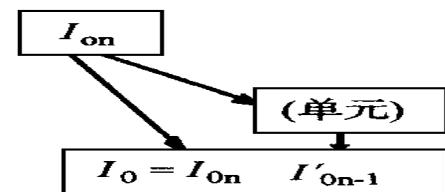
$$I_0 = I_{0n-1} - I_{0n-1} \quad (11)$$

以此来消除不平衡零序电流分量对系统正常情况下比相判据的影响。

故障条件下,系统调节零序电流为

$$I_0 = I_{0n} - I_{0n-1} \quad (12)$$

由此获得比相所需故障后的实际零序电流分量,从而消除了不平衡零序电流分量对系统故障情况下比相判据的影响。系统调节过程,如图(2)所示。



(a) 有突变时,系统调节



(b) 有突变时,系统调节的向量表示法

图2 系统调节零序电流

同理可得,非故障条件下系统调节负序电流为:

$$I_2 = I_{2n-1} - I_{2n-1} \quad (13)$$

故障条件下,系统调节负序电流为

$$I_2 = I_{2n} - I_{2n-1} \quad (14)$$

通过系统调节后的比相判据,正常情况下, $I_0 = 0, I_2 = 0$ 。由于消除了不平衡零序、负序电流分量的影响,因而可获得前文所述的各种理想特性。

5 A、B、C 三相对称短路的情况分析及其解决措施

通过前文所述的系统调节,我们已知,系统不平衡零序电流分量 $I_0 = 0$,不平衡负序电流分量 $I_2 = 0$,显然,在发生三相对称短路情况下,是既无零序电流分量,也无负序电流分量,因此,用文献^{[1],[2]}的比相动作判据,无法对三相对称短路情况作比相判断,但正是由于故障形式是对称短路特性,根据电力系统对称三相原理分析可知,在系统三相对称纯感负载情况下,必有 U_{AB} 超前 $-jI_C 90^\circ$,同理 U_{BC} 超前 $-jI_A 90^\circ, U_{CA}$ 超前 $-jI_B 90^\circ$;在系统三相对称纯阻负载情况下,则有 U_{AB} 与 $-jI_C$ 同相位, U_{BC} 与 $-jI_A$ 同相位, U_{CA} 与 $-jI_B$ 同相位。但实际的电力系统是一个既有阻抗负载又有感抗负载的不完全对称的复杂动态系统,因而 U_{AB} 与 $-jI_C、U_{BC}$ 与 $-jI_A、U_{CA}$ 与 $-jI_B$ 之间的相位关系既不是超前 90° ,也不是同相位,而介于 $0 \sim 90^\circ$ 之间。上述分析的矢量关系图,可用图3表示(以 AB 相为例)。

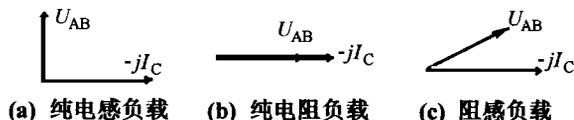


图3 不同负载系统向量图

根据文献^[2],由 $U_{AB} = U_{AB} - I_{AB} Z_d$ 分析可知,正常情况下,由于 I_{AB} 为正, U_{AB} 总滞后 U_{AB} 一个角度,但超前 $-jI_C$ 。

正向区内故障情况下,由于 U_{AB} 变小,而 I_{AB} 变大, Z_d 不变, U_{AB} 变负而滞后 $-jI_C$,此时 $-jI_C$ 与短路电压同方向。

反方向故障时,由于 U_{AB} 变小, I_{AB} 变负且变大, U_{AB} 超前 U_{AB} ,但均在 $-jI_C$ 的同一侧,此时 $-jI_C$ 与短路电压方向相反。

上述三种情况下, U_{AB} 、 U_{AB} 与 $-jI_C$ 的相量关系,可用图 4 表示。

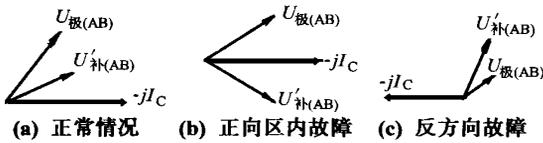


图 4 AB 相电压相量图

同样的分析可得 BC 相、CA 相对应的相量关系图。

因此,依据比相原理,文献^[2]所用的判据可以改为:

$$\begin{cases} \text{AB 相: } U_P = U_{AB} \quad U_R = -jI_C \quad U_{AB} = U_{AB} - I_{AB} Z_d \\ \text{BC 相: } U_P = U_{BC} \quad U_R = -jI_A \quad U_{BC} = U_{BC} - I_{BC} Z_d \\ \text{CA 相: } U_P = U_{CA} \quad U_R = -jI_B \quad U_{CA} = U_{CA} - I_{CA} Z_d \end{cases} \quad (15)$$

式中: U 、 I ($= AB, BC, CA$) 分别表示保护安装处的相间电压和相差电流, I ($= A, B, C$) 表示保护安装处 相的实际电流。

由此,当选相元件的 I_A 、 I_B 、 I_C 都产生突变后,可用 $-jI_A$ 、 $-jI_B$ 和 $-jI_C$ 实际电流作为参考向量与对应的极化电压和补偿电压 U_{BC} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 、 U_{CA} 和 U_{AB} 、 U_{AB} 进行比相,当三个条件同时满足时,判为三相对称短路。由于采用突变量作为辅助判断条件,在系统振荡时虽然其系统特性与三相对称短路故障有时无法区别,但因没有突变发生,不会引起误判,当系统振荡且发生三相对称故障时则能由突变量作为启动判断条件,因此

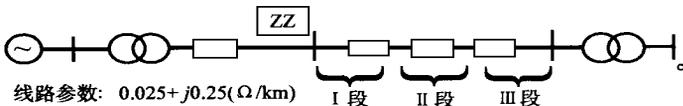


图 5 动模实验系统模型

可实现三相对称短路与系统振荡同时发生时保护的正确动作。

6 动模试验结果

因是微机型保护,且本文所采用的判据需作大量的矢量计算,因此,本文所采用的基频分量估计算法为快速递推富氏算法,它采用下式:

$$X_{an} = X_{a(n-1)} + \frac{2}{N} \sin(mvT) (f_n - f_{n-N}) \quad (16a)$$

$$X_{bn} = X_{b(n-1)} + \frac{2}{N} \cos(mvT) (f_n - f_{n-N}) \quad (16b)$$

式中 X_{an} 、 X_{bn} 为基波相量的实部、虚部, f_n 为基波相量的 n 个采样值, N 为采样点数, T 为采样周期。对基波相量进行富氏计算,在每个采样周期之后,仅需 2 次加法和 1 次乘法运算,就可获得基波分量估计值的更新。为了消除衰减非周期分量对算法的影响,本文采用文献^[5]所述的在原滤波算法基础上增加两点的精确校正法。同时,为了更进一步提高保护动作的快速性和可靠度,采用一个三层前向神经网络,作为距离保护的最终判断出口。

根据本文提出的保护原理和相关算法,设计和构成了一套微机距离保护实验装置,并进行了动态模拟实验验证。

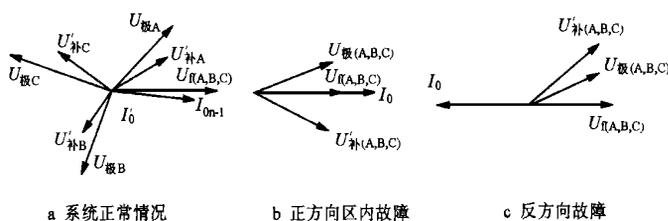
实验装置以 80C196 为核心构成,软件设计包括三段式相间距离和三段式接地距离。一次系统实验模型采用单机对无穷大系统模型,如图 5 所示,模拟线路为一条 110kV、120km 长的输电线路。在线路全长的三段范围内,每段设置 3 个故障点,每个故障点分设 A、B、C 三相单相接地、两相接地、高阻接地、两相短路、三相对称短路。另外,区外设置 2 个故障点。

主要实验项目和结果如下:

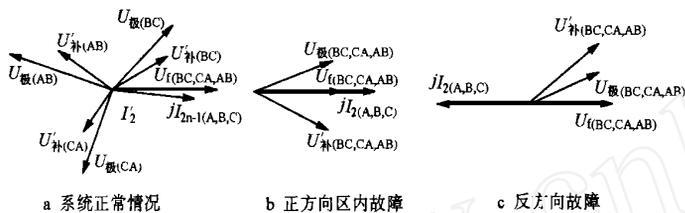
(1) 系统调节后,新型距离比相判据检测实验检测试验主要针对系统正常、区内故障(包括高阻接地)和反方向短路,不同地点不同条件下保护判据的动作情况见图 6。

实验结果表明,经系统调节后的比相判据,能够比较灵敏地反映出保护区末端的工作状态和高阻接地的故障状态,克服了原判据中存在的动作死区;同时,消除了保护的“分段漂移”,提高了分段精度。判据反映系统工作状态的可靠性和灵敏度较未做系统调节前更好。

(2) 三相平衡短路的改进判据动作特性检测试验



(a) 分相式接地距离动作电压向量图



(b) 分相式相间接地距离动作电压向量图

图6 系统调节后,新型距离继电器动作电压典型向量图
检测试验用于考察不同地点,系统正常、区内和区外三相对称短路条件下保护判据的动作情况,实验结果,如图7所示:

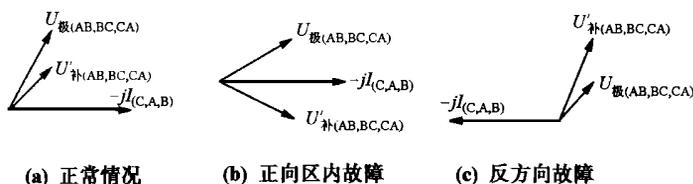


图7 用于三相平衡线路的改进判据电压相量图

图7所示结果表明,改进后的判据能够正确反映系统各种工作状态,对区内三相对称短路具有很好的灵敏度,克服了原判据三相平衡短路时的动作死区;同时,当发生区外三相短路时能可靠地不动作,具有很好的方向性。上述结果与前文分析所得基本吻合,从而证明了改进判据的正确性。

7 结论

本文所采用的微机距离保护比相判据,由于采

用了各种改进措施,能够保证故障相的距离比相元件具有理想特性,它与相电流差突变量选相元件相配合,使距离保护的性得到很大改善,保护不仅能保证区内短路时正确动作,区外短路不动作,且动作特性不受短路处过渡电阻大小的影响,也不受系统结构变化和运行方式的影响,同时,具有很强的抗干扰能力,在电力系统频率发生变化的条件下,仍然能够正确比较相位。保证了微机距离保护在短路与振荡同时发生时,仍能正确工作。通过系统调节和改进完善,判据消除了保护的“分段漂移”,对正确区别保护末端工作状态和反映高阻接地故障,具有很好的灵敏度,同时,具有正确反映三相对称短路故障的能力,克服了原判据中的动作死区。

具有快速性能的递推富氏算法,解决了传统富氏算法必须满故障窗口的问题,使得保护具有快速捕捉故障信息,反映故障发展趋势及过渡过程的能力,同时能较好地兼顾了保护的動作速度和选择性的要求,使大多数区内故障尤其是近区故障得以迅速切除,从而实现保护一段范围内的“反时限动作特性”。

[参考文献]

- [1] 李晓明. 一种具有判据的接地距离继电器. 中国电机工程学报, 北京, 1988, (3).
- [2] 李晓明. 一种具有新判据的相间距离继电器. 继电器, 1989, (1).
- [3] 李晓明. 新型距离继电器比相电路研究. 继电器, 1997, (4).
- [4] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术. 水利电力出版社, 1992, 11.
- [5] 周大敏. 递推富氏算法中衰减非周期分量的消除方法. 继电器, 1998, 26(5).

收稿日期: 1998—12—28

作者简介: 刘一江(1955-), 男, 高工, 硕士研究生, 研究方向为电力系统及其自动化; 易理刚(1969-), 男, 工程师, 研究方向为电力系统及其自动化。

STUDY AND APPLICATION ABOUT CRITERION COMPARING PHASE TO COMPUTERIZED DISTANCE PROTECTION

LIU Yi-jiang, YI Li-gang

(Electric Department of Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract Distance comparing-phase cell having new criterion is combined with selecting-phase cell, can obtain idea specific property. The new comparing-phase principle is the main characteristic of new distance protection, The paper discussed how to remove action-death-area of phase comparing and judgment in the case of electric power system resistance and reactance angle not equal; and discussed the improving measure when systems append three-phase symmetry hitch.

Keywords computerized distance protection; criterion of comparing phase; systems regulation; improving measure