

# 一种新的比相式电抗型距离继电器算法

魏佩瑜<sup>1</sup>, 于桂音<sup>1</sup>, 张铭新<sup>2</sup>, 哈恒旭<sup>1</sup>

(1. 山东理工大学电气与电子工程学院, 山东 淄博 255049; 2 山东龙口市电业公司生计部, 山东 龙口 265701)

**摘要:** 对测量阻抗型和相量比较型两种类型的电抗距离继电器的抗稳态超越的能力进行了研究, 主要包括负荷的影响和同相问题的研究。同时, 构造了一个新的电抗型距离继电器判据和算法, 该算法具有方向性, 且不受负荷和同相问题的影响, 解决了由于负荷和同相问题引起的稳态超越现象, 提高了保护动作的可靠性。电磁暂态仿真结果证明该原理具有防止负荷和同相问题引起的稳态超越和保护范围不足的问题。

**关键词:** 输电线路; 电抗型距离继电器; 稳态超越

**中图分类号:** TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)08-0013-04

## 0 引言

距离继电器的本质是测量保护安装点到故障点之间的线路阻抗或距离。传统的电磁式距离继电器则是利用比较极化相量和补偿相量的幅值或相位差构成<sup>[1]</sup>。随着微机在继电保护中的应用, 直接测量或计算故障阻抗成为微机保护中算法的直接选择。随着微机保护的发展, 相量比较式的原理和算法也应用于微机保护之中, 这就造成了微机距离继电器的两类原理、算法和实现方法: 测量阻抗式距离继电器和相量比较式距离继电器。利用测量的电压和电流直接求解故障阻抗、电抗或者故障距离构成的原理称为测量阻抗式距离保护原理<sup>[2~4]</sup>。利用极化相量和补偿电压相量幅值或者相位关系的构成的原理称为相量比较式距离保护原理。

电抗型距离继电器是为了抵抗高压线路单相接地故障时的大过渡电阻而设计的。测量阻抗式的电抗型距离继电器原理是采用计算故障电抗来构成的。而相量比较式的电抗型距离继电器原理则是通过比较补偿电压相量和零序电流相量的相位来实现。二者都具有较大的抗过渡电阻能力, 且二者都不具有方向性。但二者的特性有许多明显的不同, 特别表现在两个方面: 第一, 前者受负荷影响很大, 其电抗特性不会随负荷的变化而变化, 容易由于负荷而导致保护范围的稳态超越或稳态保护范围不足; 后者则几乎不受负荷影响, 其电抗特性会随着负荷的变化而自适应的改变。第二, 后者受同相问题的影响很大, 即当过渡电阻达到或超过某个特定的数值时, 继电器将出现误动或拒动。为了解决同相问题, 通常需要增加附加判据<sup>[5]</sup>。

本文就上述两个问题对两种类型的电抗型距离继电器进行了详细的研究, 并构造出一个新的比相式的电抗型距离继电器原理和算法。新的电抗型距离继电器具有方向性, 无需增加附加判据即可不受负荷、同相问题引起的稳态超越的影响, 具有较高的灵敏性和可靠性。

## 1 负荷引起的稳态超越问题的分析

1.1 负荷对测量阻抗式电抗型距离继电器的影响  
典型双端电源网络的测量阻抗式电抗型距离保护原理如图1所示, 测量阻抗可以表示为:

$$Z_M = \frac{V_F}{I_M} + Z_F = R_g \left( \frac{I_F}{I_M} \right) + R_F + jX_F \quad (1)$$

其中:  $Z_M$  为测量阻抗;  $Z_F = R_F + jX_F$  为故障阻抗;  $R_g$  为故障过渡电阻;  $I_F$  为故障支路电流;  $I_M$  为测量电流。

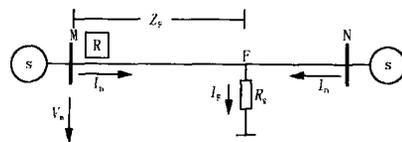


图1 典型双端电源网络

Fig 1 Typical double-source transmission system

假设故障支路电流与测量电流的相位差为  $\alpha = \arg \frac{I_F}{I_M}$ , 那么其判据为:

$$\operatorname{Im} [ Z_M e^{-j\alpha} ] = X_M \cos \alpha - R_M \sin \alpha < X_{set} \cos \alpha - R_{set} \sin \alpha \quad (2)$$

其中:  $Z_{set} = R_{set} + jX_{set}$  为整定阻抗。

由此可见, 作为一个未知量, 其设定对测量阻抗式的电抗型距离继电器的保护范围至关重要:

$$= \arg \frac{I_F}{I_M} = \arg \frac{I_F}{I_{Mth} + C_M I_F} \quad (3)$$

其中： $I_{Mth}$ 为 M 侧的负荷电流， $C_M$  为 M 侧的故障电流分布系数。

根据公式 (3) 不难发现，当不考虑负荷或者负荷不变时，是一个常数，当负荷变化时，角也随之变化，但此时该角度已经设定（电抗线的倾角已经设定），这个角度的变化就会造成稳态超越或者保护范围不足。

### 1.2 负荷对相量比较式电抗型距离继电器的影响

相量比较式距离继电器的特点就是根据线路的相量方程，定义一个补偿电压。三相输电系统单相线路方程为：

$$V_M = V_F + Z_{F1} (I_M + 3K I_{M0}) \quad (4)$$

其中： $Z_{F1}$ 为故障点至测量点的正序阻抗； $I_{M0}$ 为测量点测量的零序电流； $V_F$ 为故障点的相电压。

由此，补偿电压相量定义为：

$$V_{op} = V_M - Z_{set} (I_M + 3K I_{M0}) \quad (5)$$

当发生经过过渡电阻为  $R_g$  的单相接地短路时，其相量图如图 2 所示。

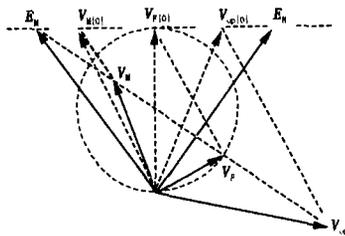


图 2 单相接地时电压相量图

Fig 2 Voltage phasor diagram for single phase to earth fault

图 2 中， $E_M$  和  $E_N$  分别为两侧电源电压， $V_M$ 、 $V_F$ 、 $V_{op}$  分别为测量点、故障点电压和补偿电压，下标“|0|”代表故障前的量。

由图 2 可知，区内故障时， $V_{op}$  滞后  $V_F$ ，区外故障时，刚好相反。 $V_F$  无法测量到，然而在单相接地短路时有：

$$V_F = 3R_g I_{F0} = K_g I_{M0} e^{-j} \quad (6)$$

其中： $K_g$  为正实常数， $\angle = \arg \frac{I_{M0}}{I_{F0}} = \arg C_{M0}$  为测量零序电流和故障支路零序电流的相位差，也是零序电流分布系数的相角。

因此比相式电抗型距离继电器的判据为：

$$-180^\circ < \arg \frac{V_{op}}{I_0 e^{-j}} < 0^\circ \quad (7)$$

相角是未知的，我们必须加以设定。但这个

相角不受负荷的变化，因此负荷的变化就不会影响继电器的保护范围。

从另一个角度看，判据 7 的动作特性方程为：

$$\phi - 180^\circ < \arg(Z_{F1} - Z_{set}) < \phi \quad (8)$$

其中： $\phi = \arg \frac{I_{M0}}{I_M + K I_{M0}}$

当负荷发生变化时，相角  $\phi$  随着负荷的变化而变化，其阻抗特性直线也随着负荷的变化而自适应地调整。因此，相量比较式的电抗型距离继电器具有随着负荷的变化而自适应地改变和调整电抗线的夹角的特点，负荷不会引起这种类型的继电器的保护范围的变化。

## 2 同相问题的探讨

### 2.1 同相问题

相量比较式电抗型距离继电器的同相问题是指当保护安装在受电侧时，在某个过渡电阻值下，补偿电压、测量电压和故障点电压处于同相的位置，当过渡电阻超过这个数值时，可以用下面的相量图来说明，当过渡电阻的大小刚好使得上述三个电压相量同相时（这个电阻记为  $R_{inph}$ ），其相量图如图 3 所示。

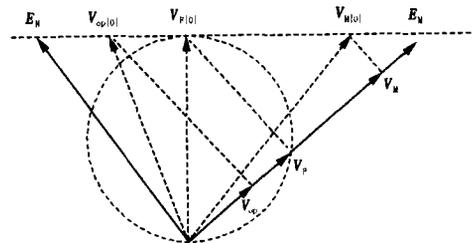


图 3 刚好同相时的电压相量图

Fig 3 Voltage diagram when  $R_g = R_{inph}$

当过渡电阻  $R_g > R_{inph}$  时，电压相量图如图 4。

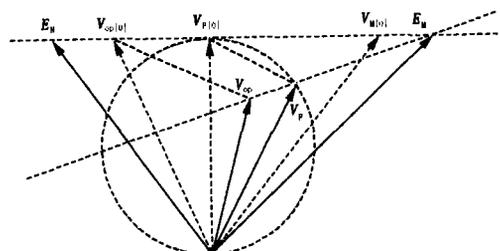


图 4 过渡电阻大于同相电阻时的相量图

Fig 4 Voltage phasor diagram when  $R_g > R_{inph}$

由图 4 可见，当过渡电阻大于同相时的过渡电阻  $R_{inph}$  时，区内故障和区外故障时的相量特征与过渡电阻小于同相电阻时的相量的关系刚好相反。通

过图 3和 4还可以发现,负荷的大小决定同相过渡电阻的大小,负荷越大 ( $E_m$  和  $E_n$  之间的夹角越大),则同相时的过渡电阻  $R_{mpn}$  越小,此时电抗型继电器的抗过渡电阻能力就越小。

### 2.2 同相问题的本质

可以从线路故障后的方程来考察,当线路发生单相接地故障时,其故障相的相量方程如公式 (4) 所示,将式 (6)代入式 (4),然后代入补偿电压方程 (方程 5)后可得:

$$V_{op} = K_g I_{M0} e^{-j} + (Z_{F1} - Z_{set}) (I_M + 3KI_{M0}) \quad (9)$$

将之稍作改变:

$$\frac{V_{op}}{I_{M0} e^{-j}} = K_g + (Z_{F1} - Z_{set}) \frac{I_M + 3KI_{M0}}{I_{M0} e^{-j}} \quad (10)$$

其中:  $K_g$  为正实常数,  $V_{op} / (I_{M0} e^{-j})$  的角度不仅取决于故障位置,而且取决于  $\phi_L + \arg \frac{I_M + 3KI_{M0}}{I_{M0} e^{-j}}$  的角度,其中  $\phi_L = \arg Z_L$  为线路阻抗角。

当  $\phi_L = 0$  时,  $V_{op} / (I_{M0} e^{-j})$  为一个实数,同相就发生了,此时,方程 10的虚部不存在,两个未知数只有一个实部方程,因此无法判断区内外故障,这就是同相的本质。

当  $-90^\circ < \phi_L < 90^\circ$  时,区内故障时,由于  $Z_{F1} < Z_{set}$  有  $-180^\circ < \arg \frac{V_{op}}{I_{M0} e^{-j}} < 0^\circ$ ; 区外故障时,由于  $Z_{F1} > Z_{set}$ , 有  $0^\circ < \arg \frac{V_{op}}{I_{M0} e^{-j}} < 180^\circ$ 。

而当  $90^\circ < \phi_L < 270^\circ$  时,区内外故障的特征刚好与上述结论相反。

### 3 新的比相式电抗型距离继电器判据

要解决过渡电阻大于同相电阻后,相量比较式电抗型距离继电器的拒动和误动的问题,最直观的办法是增加一个电流判据,即首先判断上述是在哪个区域内。然而从另外一个角度看,区内故障时,故障点电压相量在测量电压和补偿电压相量之间,而区外故障时(包括反方向故障),故障点电压相量在测量电压和补偿电压相量的一侧。因此,最佳相量比较式电抗型继电器的判据应该为:

$$90^\circ < \arg \frac{V_M - V_F}{V_{op} - V_F} < 270^\circ \quad (11)$$

然而故障点的电压相量未知,但可以通过测量的电压电流和预先设置的零序电流夹角进行估算。发生故障后的电压电流相量图如图 5所示。

图 5中,  $\phi_L$  为线路正序阻抗角,  $\phi_L = \arg \frac{V_M}{I_M + 3KI_{M0}}$

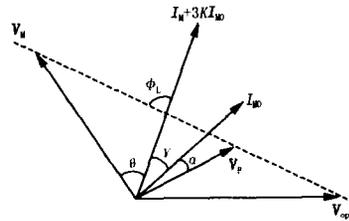


图 5 故障后的电压电流相量图

Fig 5 Voltage/current phasor diagram of faulty line

为测量阻抗角,  $\phi_L = \arg \frac{I_M + 3KI_{M0}}{I_{M0}}$ , 为测量零序电流和故障支路零序电流夹角。根据简单的三角函数关系可以求得故障点的电压相量  $V_F$ :

$$V_F = \left| \frac{V_M \sin(\phi_L - \alpha)}{I_{M0} \sin(\phi_L + \alpha + \beta)} \right| I_{M0} e^{-j} \quad (12)$$

考虑到对故障点电压相量的估算,方向必须准确,而其长度的误差允许较大,因此近似认为线路阻抗角  $\phi_L = 90^\circ$ ; 而且,零序电流之间的相位角也很小,在计算幅值时可以忽略不计,因此式 (12)就简化为:

$$V_F = \left| \frac{V_M \cos \alpha}{I_{M0} \cos \beta} \right| I_{M0} e^{-j} \quad (13)$$

考虑到正方向出口短路时,故障点电压  $V_F$ 和测量电压  $V_M$  发生重合而导致继电器出现出口死区,因此借鉴传统的阻抗型距离继电器消除死区的方法,用故障前的测量电压相量取代测量电压构成保护判据:

$$90^\circ < \arg \frac{V_{M101} - V_F}{V_{op} - V_F} < 270^\circ \quad (14)$$

### 4 EMTP仿真

仿真的网络采用简单的双端电源网络,如图 6 所示,输电线路长度为 180 km,整定点的距离为 150 km,线路采用分布参数来模拟,为不平衡的三相水平排列导线,其等效正序、负序和零序参数为:  $\bar{x}_{11} = \bar{x}_{12} = 0.0575 + j0.3882$ ;  $\bar{x}_{10} = 0.0955 + j1.1846$ 。

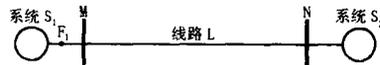


图 6 仿真系统接线图

Fig 6 Simulated transmission line

母线 M 为送电侧, N 为受电侧,零序电流夹角整定为  $7^\circ$  (按照其最大可能的角度)。当在反方向  $F_1$  点发生 A 相经过  $50 \Omega$  的过渡电阻接地短路时,其动作曲线以及测量电压、故障前的测量电压以及估计的故障点电压如图 7 所示。当在线路出口发生

正方向区内 A 相接地短路时 (过渡电阻仍为 50  $\Omega$ ), 其动作曲线以及电压相量图如图 8 所示。

新的电抗型距离继电器的抗过渡电阻能力如图 9 所示。该图表示将故障点从 0 ~ 150 km, 每隔 10 km 做 20 次仿真计算, 每次过渡电阻增加 50  $\Omega$ , 继电器的动作情况。阴影部分表示继电器正确动作, 空白部分表示继电器拒动。当保护安装在送电侧时, 没有同相问题的影响; 而当保护安装在受电侧时, 当过渡电阻的大小恰好使得补偿电压和极化电压同相位时, 此时继电器拒动 (原因前面已经分析), 而当过渡电阻大于这个值时, 新的算法仍然能够正确动作。

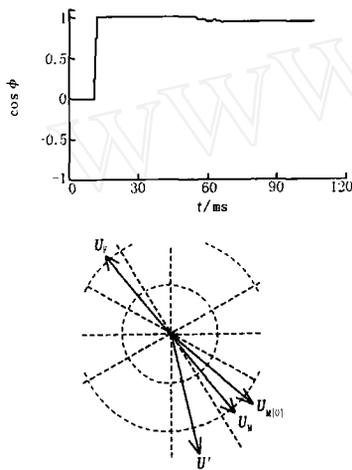


图 7 反方向短路时的动作曲线和电压相量图

Fig 7 Relay response and voltage phasor of reverse fault

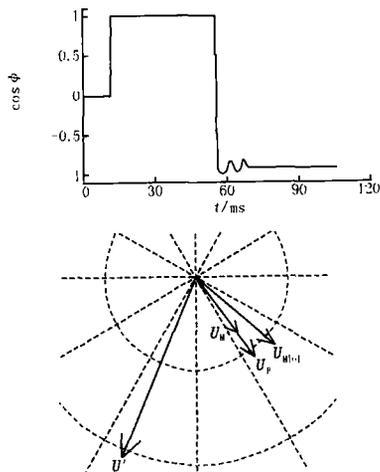


图 8 正方向出口短路时的动作曲线和电压相量图

Fig 8 Relay response and voltage phasor of close-up fault

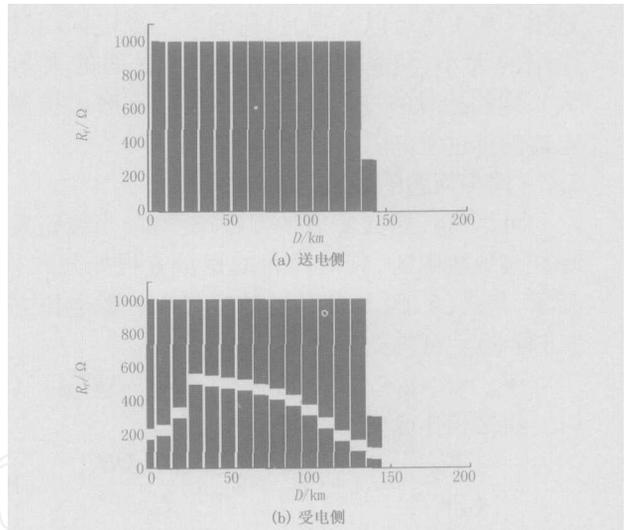


图 9 新的电抗型距离继电器的抗过渡电阻能力

Fig 9 Capability of resisting fault resistance of new reactance type distance relay

### 5 结论

电抗型继电器具有很大的抗过渡电阻能力, 可以分为两种类型, 测量阻抗式和相量比较式。测量阻抗式的电抗型距离继电器的电抗线是一条固定不变的曲线, 其曲线的斜率事先设定后, 就不会随着负荷的改变而改变, 当负荷变化时, 就有可能导致继电器的超越或保护范围不足。

相量比较式的电抗型距离继电器的动作曲线, 会随着负荷大小的变化而自适应地改变, 因此从性能上说, 相量比较式要比测量阻抗式的抗暂态超越能力强。然而, 同相问题是相量比较式电抗型距离继电器必须解决的问题。本文根据区内外故障特征, 构造了一个新的电抗继电器算法, 通过零序电流确定故障点电压相量的方向, 通过测量电压电流确定电压相量的大小, 然后构造出新的电抗型继电器的判据。

EMTP 仿真结果验证表明, 该电抗型距离继电器的判据与传统的比相式电抗型距离继电器相比, 具有明显的方向性, 而且当过渡电阻大于同相电阻时, 无需增加附加判据, 提高了继电器抗稳态超越和过渡电阻的能力。

### 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, 1994

(下转第 49 页 continued on page 49)

- Genetic Algorithm for Hydropower Governing System [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2005, 36(1): 66-69.
- [8] 刘金琨. 先进 PD控制及其 Matlab仿真 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- LU Jin-kun. Advanced PD Control and Its Matlab Simulation [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003.
- [9] 刘红超, 李兴源. 基于 PRONY辨识的交直流并联输电系统直流阻尼控制的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(7): 54-57.
- LU Hong-chao, LI Xing-yuan. Study of DC Damping Control in AC/DC Transmission System Based on Prony Method [J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(7): 54-57.
- [10] Trudnowski. Order Reduction of Large Scale Linear Oscillatory System Models, 1994, 9(1): 451-458.

收稿日期: 2005-09-28; 修回日期: 2005-11-10

作者简介:

刘剑(1977-),男,硕士研究生,主要从事电力系统稳定与控制方面研究; E-mail: liujian1@sohu.com

刘天琪(1962-),女,博士,教授,研究方向为电力系统稳定与控制、高压直流输电、调度自动化。

### Additional PD excitation control based on Prony and Genetic Algorithm

LU Jian<sup>1</sup>, LU Tian-qi<sup>1</sup>, HOU Jing-zhou<sup>2</sup>

(1. College of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Northwest Power Grid Corporation, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** This paper presents a new additional excitation controller. The generator model is identified and simplified by the controller with Prony method. The estimate part of the controller is based on this simplified model. Then parameter of the controller is set with Genetic Algorithm. Because the system model gotten by controller's identification part includes the smaller damping ratio and the larger residue oscillation mode state, the optimized PD controller has effective damping ability in real systems, aimed at such model. The simulation results show that the system damping can be improved not only at small disturbance, but also at large disturbance, and the controller's robustness is stronger.

**Key words:** Prony; Genetic Algorithm; system identification; stability control; parameter optimization

(上接第 16 页 continued from page 16)

- ZHU Sheng-shi. Principle and Technology of Protective Relaying for High Voltage Transmission System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
- [2] XNG Yi-bao, SU I Feng-hai, ZHU Sheng-shi. Fault Component Reactance Relay [A]. International Conference on Power System Technology, CSEE 1991. 678-682.
- [3] ZHANG Zhi-zhe, CHEN De-shu. An Adaptive Approach in Digital Distance Protection [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1991, 6(1): 135-141.
- [4] LI Yan, CHEN De-shu, YN Xiang-gen. Research of One New Adaptive Mho Relay [A]. IEEE/PES International Conference on Power System Technology 2002.
- [5] Ye P, Li K K, Chen D S, et al. A Novel Algorithm for High Resistance Earth Fault Distance Protection [A]. IEEE PES Conference on Power System Technique 1996 475-480.
- 收稿日期: 2005-10-08; 修回日期: 2005-12-26
- 作者简介:
- 魏佩瑜(1960-),女,副教授,主要研究方向为电力系统继电保护;
- 于桂音(1953-),男,副教授,主要研究方向为电力系统控制与保护;
- 张铭新(1970-),男,工程师,主要研究方向为电力系统继电保护;
- 哈恒旭(1972-),男,博士,副教授,主要研究方向为电力系统继电保护与安全自动装置。E-mail: hxharr@163.com

### A novel algorithm of reactance type distance relay based on phasor comparison

WEI Pei-yu<sup>1</sup>, YU Gui-yin<sup>1</sup>, ZHANG Ming-xin<sup>2</sup>, HA Heng-xu<sup>1</sup>

(1. Shandong University of Technology, Zibo 255049, China; 2. Longkou Electric Power Corp, Longkou 265701, China)

**Abstract:** The principle and algorithm of reactance-type distance relay can be classified into two categories: the measuring fault reactance type and phasor comparing type. The capability of resisting the stable overreach and underreach caused by bad and "in phase problem" is analyzed for the two types of reactance relay. At the same time, a new algorithm of reactance-type distance relay is proposed. The EMTP simulation tests show that the new algorithm has the property of directionality as well as does not lead to overreach and underreach caused by the former factors.

**Key words:** EHV transmission lines; reactance type distance relay; stable overreach