

# 平行线对接地距离保护运行特性的影响

文明浩,陈德树,尹项根,张 哲

(华中理工大学电力工程系,湖北 武汉 430074)

**摘要:** 用电压向量图和数字仿真的方法分析了双下偏  $i_0$  极化接地距离继电器、工频变化量距离继电器、零序电抗继电器等在平行双回线的动作特性,最后提出了一种直接比较两回线零序电流的接地故障保护新方案。

**关键词:** 平行双回线; 接地距离保护

中图分类号: TM773

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2000)04-0053-04

## 1 引言

在线路发生接地故障时,平行双回线结构的特殊性以及零序互感等因素造成继电器耐受过渡电阻能力较弱并且在邻线短路时可能误动,严重影响继电器的性能。因而通过数字仿真分析和比较各种继电器运行特性对于正确应用这些继电器是十分必要的。

## 2 系统模型和阻抗继电器计算机辅助分析方法

继电器分析用网络采用图1所示的双侧电源网络。对阻抗继电器的静态运行特性进行分析时采用的方法有:1)用电压向量图分析法分析继电器动作情况;2)用计算机辅助分析阻抗继电器的支接电阻动作特性。

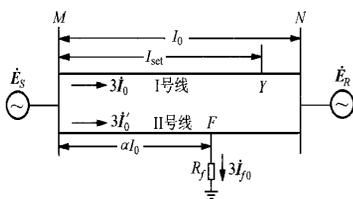


图1 系统模型(短路点在 II 号线)

计算机辅助分析采用由 TRCP(d) - 1 (Tapw - Resistance Operating Characteristics Program - Direct Method) 程序<sup>[1]</sup>发展而来的阻抗继电器分析程序。此程序能发现继电器支接电阻动作特性中的小孤岛区和小空穴区,较全面地反映继电器的静态动作特性<sup>[2]</sup>。数字仿真的工作主要集中在通过数字计算在

各种系统运行方式情况下,各种继电器的动作特性。为此,考虑到系统运行方式的变化,共分析了六种系统运行情况如表1所示。表1中,假定系统各元件的正序阻抗等于负序阻抗。作为系统运行方式的变化,选取以线路正序阻抗的幅值为100,两侧系统的正序阻抗的幅值20,50,100,800四种情况。为了分析负荷的影响,两侧系统的电势角差取值分别为  $-60^\circ, -30^\circ, 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ 。仿真计算中过渡电阻  $R_f$  的取值范围为  $0 \sim 10z_{L1}$ 。仿真结果以阴影图表示,图中横轴为单相接地短路的过渡电阻  $R_f$ ,纵轴为短路点的位置  $a$ ,  $\delta$  为电源电势角差。当本回线故障时图中所示为正确动作区,当邻线故障时图中所示为误动区,阻抗继电器的整定范围为线路全长的80%。以下逐个地分析继电器的在平行双回线的动作特性,列出仿真结果以及有代表性的仿真结果阴影图。

## 3 几种继电器的分析比较

### 3.1 双下偏 $i_0$ 极化接地距离继电器

双下偏  $i_0$  极化接地距离保护方案<sup>[3]</sup>应用于平行双回线应如下:

令  $(l) = \text{Arg } \dot{I}_0 - \text{Arg } \dot{I}_{f0}$ ; (可以证明当故障点位于继电器所在那一回线时,  $(l)$  是单调函数)

$$l_1 = \max\{ (l_0), (l_{set}) \};$$

$$l_2 = \min\{ (l_0), (l_{set}) \};$$

当判据切换前即:  $\text{Arg} \left( \frac{\dot{U}_L}{\dot{I}_0} \right) - l_2$  时,  $180^\circ$

$\text{Arg} \left( \frac{\dot{U}_L}{\dot{I}_0 e^{-j_1}} \right) > 360^\circ$  时保护动作;

当判据切换后即:  $\text{Arg} \left( \frac{\dot{U}_L}{\dot{I}_0} \right) - l_1$  时,  $0^\circ$

$\text{Arg} \left( \frac{\dot{U}_L}{\dot{I}_0 e^{-j_2}} \right) > 180^\circ$  时保护动作;

收稿日期: 1999-10-11

作者简介: 文明浩(1972-),男,博士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护。

表 1 系统运行参数

单位:

|   | $Z_{S1} = Z_{S2}$ | $Z_{S0}$ | $Z_{L1} = Z_{L2}$ | $Z_{R0}$ | $Z_{1} = Z_{2}$ | $Z_{0}$ | $Z_{m0}$ | $Z_{R1} = Z_{R2}$ | $Z_{R0}$ |
|---|-------------------|----------|-------------------|----------|-----------------|---------|----------|-------------------|----------|
| 1 | 100 87°           | 100 85°  | 100 85°           | 250 73°  | 100 85°         | 250 73° | 72 90°   | 100 87°           | 100 85°  |
| 2 | 20 87°            | 15 85°   | 100 85°           | 250 73°  | 100 85°         | 250 73° | 72 90°   | 20 87°            | 15 85°   |
| 3 | 800 87°           | 800 85°  | 100 85°           | 250 73°  | 100 85°         | 250 73° | 72 90°   | 800 87°           | 800 85°  |
| 4 | 50 85°            | 25 80°   | 100 90°           | 250 80°  | 100 90°         | 250 80° | 72 90°   | 50 85°            | 25 80°   |
| 5 | 50 85°            | 25 80°   | 100 80°           | 250 65°  | 100 80°         | 250 65° | 72 90°   | 50 85°            | 25 80°   |
| 6 | 20 87°            | 15 85°   | 100 85°           | 250 73°  | 80 85°          | 200 73° | 72 90°   | 20 87°            | 15 85°   |

电源模值  $E_s = 1000, E_R = 1000$ ; 送端电源正序(负序)阻抗  $Z_{S1} (Z_{S2})$ ; 受端电源正序(负序)阻抗  $Z_{R1} (Z_{R2})$ ; 电源零序阻抗  $Z_{S0}, Z_{R0}$ ; 号线正序(负序)阻抗  $Z_1 (Z_2)$ ; 号线零序阻抗  $Z_0$ ; 号线正序(负序)阻抗  $Z_{11} (Z_{12})$ ; 号线零序阻抗  $Z_{00}$ ; 线路间的零序互感阻抗  $Z_{m0}$ ;

当  $\arg \left( \frac{\dot{U}_L}{\dot{I}_0} \right) \approx -90^\circ$  时, 闭锁保护。

其中:  $\delta$  为裕度角(一般取  $\delta = 0.5^\circ$ )。

双回线有互感的情况下, 为了故障相能正确测量距离, 故障相的补偿电压应为:

$$\dot{U}_y = \dot{U} - (\dot{I} + K 3\dot{I}_0 + K_{0M} 3\dot{I}'_0) Z_{set}$$

与之对应的  $\dot{U}_L = (\dot{I} + K 3\dot{I}_0 + K_{0M} 3\dot{I}'_0) Z_{set}$

其中:  $\dot{U}$ 、 $\dot{I}$  分别为故障相的电压和电流;  $\dot{I}_0$  为本回线路的零序电流,  $\dot{I}'_0$  为双回线中的另一回线零序电流;  $\dot{I}_{f0}$  为流过故障点的零序电流;  $K$  为本线路的零序补偿系数;  $K_{0M} = \frac{Z_{IM}}{Z_{L1}}$ ,  $Z_{IM}$  为双回线每相互感值,  $Z_{L1}$  为本线路正序电抗;  $Z_{set}$  为接地距离保护的整定阻抗。

该方案在双回线中保护所处的本回线路上的单相接地故障时, 能在保证整定点以外的故障保护不误动的前提下, 对于区内故障有尽可能高的耐受过渡电阻能力。然而在另一回线发生单相接地故障时, 不论本回线的保护处于送端还是受端, 保护都可能误动。这是由于平行双回线本身的拓扑结构, 使得  $\dot{I}_{f0}$  与  $\dot{U}_y$  的相位关系已经不能象单回线中那样反映区内故障和区外故障, 尤其是难以通过  $\dot{I}_{f0}$  与  $\dot{U}_y$  的相位关系区分是本回线还是邻线故障。几个典型的动作区、误动区如图 5、图 6、图 8 所示。

在双回线的另一回线经较大的过渡电阻单相接地短路时, 本回线处于送端的保护可能出现如图 2 所示判据切换前  $\dot{I}_{f0}$  相位超前  $\dot{U}_y$  的情况, 造成保护误动。本回线处于受端的保护可能出现如图 3 所示判据切换后  $\dot{I}_{f0}$  相位滞后  $\dot{U}_y$  的情况, 造成保护误动。在双回线的另一回线经较小的过渡电阻单相接地短路时, 本回线处于受端的保护可能出现如图 4 所示判据切换后  $\dot{I}_{f0}$  相位滞后  $\dot{U}_y$  的情况, 造成保护误动。显然如图 4 所示, 由  $\dot{I}_{f0}$  相位同时滞后于  $\dot{U}_y$

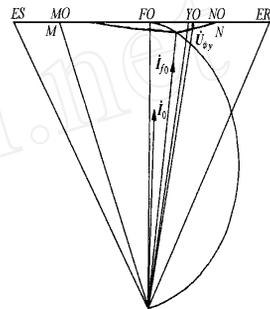


图 2 送端继电器电压向量图 ( $R_f$  值较大)

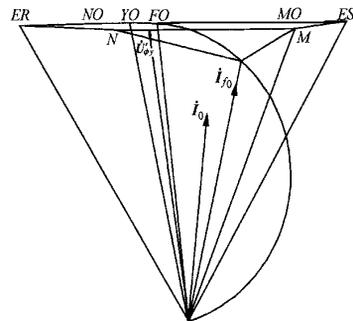


图 3 受端继电器电压向量图 ( $R_f$  值较大)

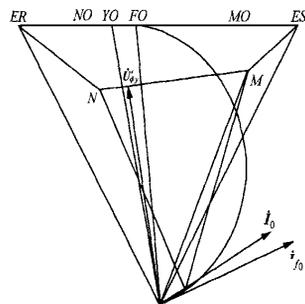


图 4 受端继电器电压向量图 ( $R_f$  值较小)

和  $\dot{U}$  可以判断本回线路没有发生故障。据此对双下偏  $\dot{I}_0$  极化接地距离保护方案作些改进, 虽然可以

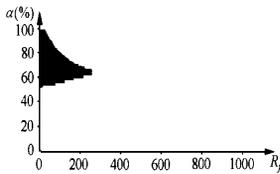


图5 双下偏  $I_0$  极化接地距离继电器  
号线故障 受端  $= 60^\circ$  误动区

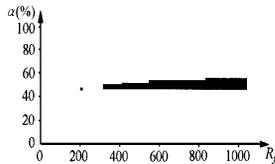


图6 双下偏  $I_0$  极化接地距离继电器  
号线故障 送端  $= -60^\circ$  误动区

在另一回线经较小的过渡电阻单相接地短路时,消除本回线处于受端的保护可能出现的误动,但是对于另一回线经较大的过渡电阻单相接地短路时,本回线处于受端和送端的保护都可能出现误动无能为力。由图2和图3可以清楚地看到本回线的  $\dot{U}_y$ 、 $\dot{U}$ 、 $\dot{U}_L$ 、 $\dot{I}_0$  的相位超前滞后关系与另一回线是一致的,因此如果仍然只用上述向量比较相位的方法已经没有多大的改进余地,要防止另一回线单相接地短路本回线保护可能出现的误动,则必然要牺牲保护本回线路故障的耐受过渡电阻能力。

### 3.2 工频变化量距离继电器

工频变化量距离继电器测量补偿电压的工频变化量的幅值,其动作方程为:

$$|\dot{U}_y| > U_z$$

对于接地故障:

$$\dot{U}_y = \dot{U} - (\dot{I} + K_3 3\dot{I}_0 + K_{0M} 3\dot{I}_0) Z_{set}$$

$U_z$  为整定门坎,取故障前补偿电压  $\dot{U}_y$  的幅值。

工频变化量距离继电器具有较好的方向性。阻抗继电器分析程序仿真计算的结果表明平行双回线的另一回线发生单相接地故障时继电器均不会误动。通过图7、图8的比较可以看出,这是以牺牲本回线故障时耐过渡电阻能力为代价的。

### 3.3 零序电抗继电器

零序电抗继电器实际上就是不作判据切换的双下偏  $I_0$  极化接地距离保护方案,其动作方程为:

$$180^\circ \leq \text{Arg} \left[ \frac{\dot{U}_y}{\dot{I}_0 e^{-j\theta_1}} \right] \leq 360^\circ \text{ 时保护动作;}$$

对于接地故障:

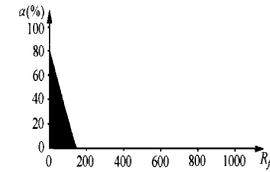


图7 工频变化量继电器  
号线故障 受端  $= 60^\circ$  动作区

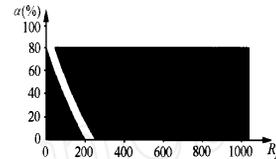


图8 双下偏  $I_0$  极化接地距离继电器  
号线故障 受端  $= 60^\circ$  动作区

$$\dot{U}_y = \dot{U} - (\dot{I} + K_3 3\dot{I}_0 + K_{0M} 3\dot{I}_0) Z_{set}$$

此继电器同样存在误动情况,误动时向量图与图2相同,分析也与上文图2的分析基本一致,这里就不再赘述。

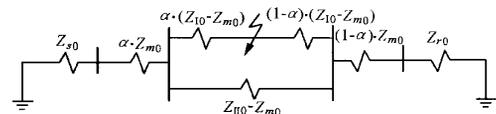


图9 双回线两侧未切开时的等价零序计算网络

## 4 平行双回线零序电流模值比较方案

在3中已提到为正确地测量距离,  $\dot{U}_y$ 、 $\dot{U}_L$  的计算都引入了双回线中的另一回线零序电流  $\dot{I}_0$ 。图5系统的零序网络如图6所示,图中  $Z_{z0}$ 、 $Z_{r0}$  分别为两侧电源的零序阻抗,  $Z_{0}$ 、 $Z_{0}$  分别为两回线路的零序阻抗,  $3Z_{IM} = Z_{m0}$  为线路间的零序互感阻抗。两回线的零序电流关系为:

$$\frac{\dot{I}_0}{\dot{I}_0} = \frac{(Z_{z0} - Z_{m0}) / (Z_{z0} - (1-\alpha) \cdot Z_{z0})}{(1-\alpha) \cdot (Z_{z0} - Z_{m0}) (Z_{r0} + Z_{z0} + Z_{z0}) + (Z_{z0} - Z_{m0}) [Z_{r0} + (1-\alpha) \cdot Z_{m0}]}$$

令  $f(\theta) = \left| \frac{\dot{I}_0}{\dot{I}_0} \right|$ , 易知短路点位置从线路零序功率分点到末端变化,  $f(\theta)$  是单调递增函数。由此可以提出一套针对平行线单相接地故障的保护新方案,具体保护方案如下:

$$\begin{aligned} &\text{当 } -90^\circ < \text{Arg} \left[ \frac{\dot{I}_0}{\dot{I}_0} \right] < 90^\circ \text{ 且 } |\dot{I}_0| > \text{时,} \\ &|\dot{I}_0| > k \cdot m \cdot |\dot{I}_0| \text{ 时保护动作;} \\ &\text{当 } 90^\circ < \text{Arg} \left[ \frac{\dot{I}_0}{\dot{I}_0} \right] < 270^\circ \text{ 且 } |\dot{I}_0| > \text{时,} \end{aligned}$$

$$-180^\circ \leq \text{Arg} \left\{ \frac{\dot{U}_0}{\dot{I}_0 e^{-j30^\circ}} \right\} < 0 \text{ 时保护动作;}$$

当  $|\dot{I}_0| < I_{0m}$  时, 直接应用双下偏  $\dot{I}_0$  极化接地距离保护方案。

其中:  $k$  为裕度系数(一般  $k$  取 1.1 ~ 1.2);

$I_{0m}$  为零序电流门槛;

$$m = \max \left\{ \left| \frac{Z_{0-} - Z_{m0}}{Z_{0-} - Z_{m0}} \right|, \left| \frac{Z_{0+} - Z_{m0}}{Z_{0+} - Z_{m0}} \right| \right\}。$$

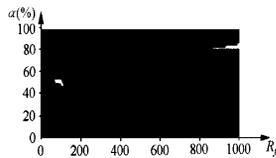


图 10 零序电流模值比较方案  
号线故障 受端  $\alpha = 60^\circ$  动作区

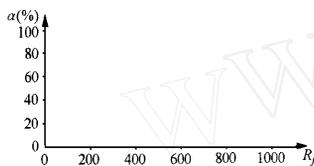


图 11 零序电流模值比较方案  
号线故障 受端  $\alpha = 60^\circ$  无误动区

当两回线的零序电流同相时, 则可能是在零序功率分点到线路末端之间发生内部故障也可能是发生了外部故障, 根据两回线的零序电流模值的关系提出的保护方案能保护本回线的大部分的内部故障而无外部故障误动的可能。当两回线的零序电流反相时, 则肯定是其中的一回线的线路始端与零序功率分点之间某处发生了故障, 如此时本回线零序功率方向为正方向则可判定为本回线内部故障, 保护动作。该方案可以保证本回线的保护在平行线的另一回线发生单相接地故障可靠地不动作, 而在本回线发生单相接地故障能保护除末端以外的大部分线路。当平行线单回线运行时, 由于无另一回线的零序互感的影响也无须考虑另一回线的故障, 此时如

发生单相接地故障则可以直接应用双下偏  $\dot{I}_0$  极化接地距离保护方案。

以图 1 的两端电源平行双回线系统模型为例, 继电器位于 号线的  $M$  端, 考虑了平行双回线的两回线参数的差异, 用第 6 种系统运行参数对零序电流模值比较方案作稳态仿真计算, 结果表明区外故障继电器不误动, 区内故障具有较高的耐过渡电阻能力, 图 10、图 11 为比较有代表性的两幅数字仿真结果阴影图。需要指出: 图 10 中  $\alpha$  为 50% 以及为 80% 附近有二块拒动区是由于 号线在零序功率分点附近故障和接近末端故障, 号线的零序电流都很小, 改用了双下偏  $\dot{I}_0$  极化接地距离保护方案所致。

## 5 结论

根据前面几节的分析, 可得出如下结论:

(1) 平行双回线接地故障时双下偏  $\dot{I}_0$  极化接地距离保护方案有不误动的可能, 因此建议只在单回线应用双下偏  $\dot{I}_0$  极化接地距离保护方案; 工频变化量具有较好的方向性, 但其耐过渡电阻能力欠佳; 零序电抗继电器存在与双下偏  $\dot{I}_0$  极化接地距离保护方案类似的误动可能, 而且其耐过渡电阻能力也不强, 建议不要单独使用。

(2) 平行双回线零序电流模值比较方案能保证区外故障不误动的情况下, 较大程度地保护本回线路, 并且具有较高的耐过渡电阻能力, 实现比较简单, 因此推荐采用零序电流模值比较方案保护平行双回线接地故障。

## 参考文献:

- [1] 陈德树. TRCP(d)-1 程序. 全国高校电自专业第一届学术年会论文集, 1985.
- [2] 叶萍. 微机型高压输电线路保护新原理的研究. 华中理工大学博士学位论文, 1996: 10 ~ 22.
- [3] 叶萍, 陈德树. 一种能克服  $\dot{I}_0$  极化接地距离继电器区外稳态超越的新方案. 中国电机工程学报, 1995, (3): 199 ~ 203.

## Analysis of some protection schemes on double transmission lines on the ground fault conditions

WEN Ming-hao, CHEN De-shu, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe

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

**Abstract:** The performance of some relays is analyzed on the condition of double lines. These relays include  $\dot{I}_0$  polarized relay with double declinational angles, fundamental component mutation relay and zero sequence reactance relay. In addition, improvement is discussed and a new scheme for the comparison of the zero sequence current between the two lines on parallel-wire line is put forward.

**Key words:** double lines; ground distance relay