

接地距离保护在相间故障下的行为分析

山东工业大学电力系 赵儒森 桑在中

摘 要

本文针对两端电源超高压输电线路,当本线路末端(或下一条线路出口处)发生A、B相相间故障,同时出现近故障侧故障相中的一相先跳开的情况下,接地距离保护的动作行为分析。本文根据复故障条件下的数学模型,由EG-3200微机通过BASIC语言进行计算,并在动模上对计算结果进行了验证。

一 问题的提出

对超高压输电线路快速保护进行动态实验时发现,在超高压输电线路的出口处(图1)发生相间故障时,N侧接地距离保护I段动作并作用于跳闸。接地距离反应相间故障的灵敏度很低,且N侧接地距离保护I段仅保护本线路的85%,为什么接地距离I段

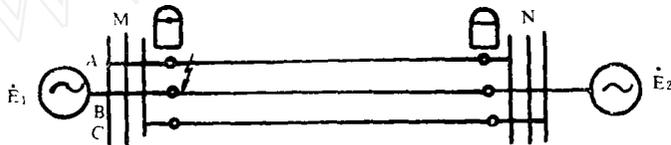


图1 系统图

在相间故障下会有这么大的超越呢?实验表明,是由于M侧AB相断路器不同时跳闸所引起。在图2所示的系统中,如果线路PM很短,且变电所M变压器的容量很小,在变电所M出口处发生相间短路时,由于M侧A、B相断路器不同时跳闸,会引起MN线路N侧接地距离I段误动作。为了得到定性的结论,有必要对这一问题进行仿真计算。

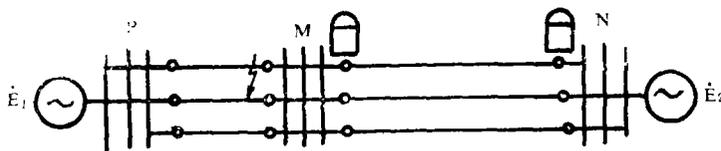


图2 系统图

二 复故障情况下的数学模型

在图1图2所示的两端电源的电力系统中, $E_2 \angle 0^\circ$ 为系统的参考坐标, δ 表示两侧电势摆开的角度。 $+\delta$ 表示为 E_1 超前 E_2 的角度, $-\delta$ 为 E_1 滞后 E_2 的角度, $m = |E_1| /$

$|E_2|$ 比值是两侧电势幅值变化，本文只讨论 $\delta = -90^\circ \sim +90^\circ$ ，而且 $m = 1$ 的特殊情况。

当输电线路发生两相（AB相）短路，同时近故障侧故障相断路器有一相先跳开的条件下称为并—并型复故障。

本文分析计算的有下面四种情况：

1. 图1中，AB两相短路，M侧A相断路器先跳开，故障发生在M侧出口；
2. 图1中，AB两相短路，M侧B相断路器先跳开，故障发生在M侧出口；
3. 图2中，PM线上AB两相短路，M侧A相断路器先跳开，故障发生在M侧出口；
4. 图2中，PM线上AB两相短路，M侧B相断路器先跳开，故障发生在M侧出口。

这四种情况的数学模型基本是一样的，只是形成的节点阻抗矩阵有所不同。因此我们只讨论第一种情况下的数学模型。

对于图1，我们可以先画出它的正序、负序和零序网如图3所示。

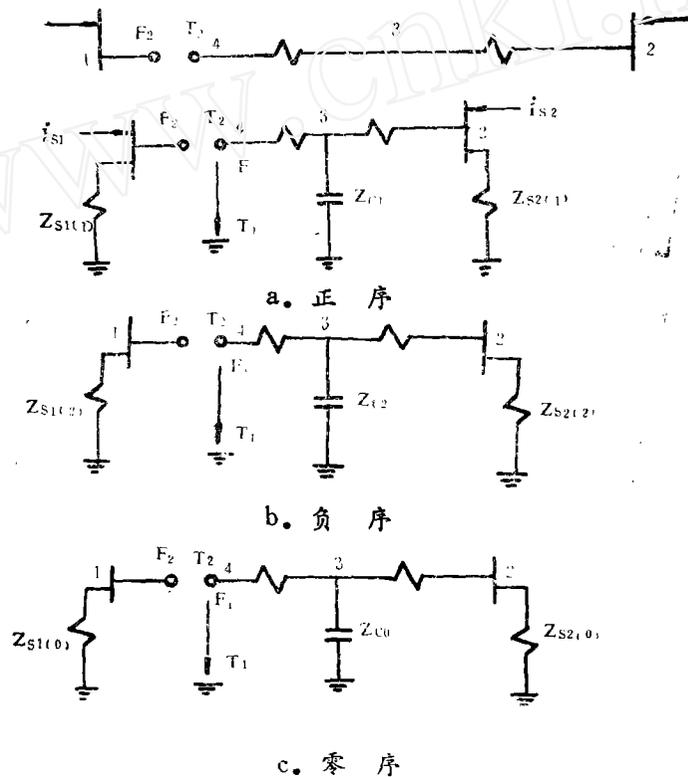


图3 电力系统序网图

按照网络的拓朴理论用支路追加法，可以得到并—并型复故障情况下的各序网的节点阻抗矩阵。

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{14} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{24} \\ Z_{31} & Z_{32} & \cdots & Z_{34} \\ Z_{41} & Z_{42} & \cdots & Z_{44} \end{bmatrix} \quad (1)$$

根据各序网的节点阻抗矩阵求出各序网的口阻抗矩阵元素，再求各序网的口导纳矩阵，最后求出复合双口序网的口导纳矩阵：

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$Y' = \begin{bmatrix} Y'_{11} & Y'_{12} \\ Y'_{21} & Y'_{22} \end{bmatrix} \quad (3)$$

故障前正序网络各节点注入电流：

$$I_{(0)} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{s1} & \dot{I}_{s2} & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (4)$$

式(1)~(4)中等号左边的符号Z、Y、Y'、I₍₀₎均为矩阵表达式缩写。

故障前，正序网络各节点电压：

$$\begin{bmatrix} U_{1(0)} \\ U_{2(0)} \\ U_{3(0)} \\ U_{4(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & \cdots & Z_{14} \\ \vdots & & \vdots \\ Z_{41} & \cdots & Z_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{s1} \\ \dot{I}_{s2} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

有源正序双口网络

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{1(1)} \\ \dot{I}_{2(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11(1)} & Y_{12(1)} \\ Y_{21(1)} & Y_{22(1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_{1(1)} \\ \dot{U}_{2(1)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{I}_{r1(1)} \\ \dot{I}_{r2(1)} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中：

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{r1(1)} \\ \dot{I}_{r2(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11(1)} & Y_{12(1)} \\ Y_{21(1)} & Y_{22(1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_{P1(0)} \\ \dot{U}_{P2(0)} \end{bmatrix}$$

无源负序双口网络：

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{1(2)} \\ \dot{I}_{2(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11(2)} & Y_{12(2)} \\ Y_{21(2)} & Y_{22(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_{1(2)} \\ \dot{U}_{2(2)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

无源零序双口网络：

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{1(0)} \\ \dot{I}_{2(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11(0)} & Y_{12(0)} \\ Y_{21(0)} & Y_{22(0)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_{1(0)} \\ \dot{U}_{2(0)} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中：

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{1(0)} \\ \dot{U}_{2(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y'_{11} & Y'_{12} & -1 & n_1(1) \\ Y'_{21} & Y'_{22} & & n_2(1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{r1(1)} \\ \dot{I}_{r2(1)} \end{bmatrix}$$

复故障序分量边界条件方程:

$$\begin{pmatrix} n_{1(1)} & & \\ & n_{2(1)} & \\ & & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{U}_{1(1)} \\ \dot{U}_{2(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_{1(2)} & & \\ & n_{2(2)} & \\ & & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{u}_{1(2)} \\ \dot{u}_{2(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{U}_{1(0)} \\ \dot{U}_{2(0)} \end{pmatrix} \quad (9)$$

通过求解上述各矩阵方程,得到故障时各序网的节点注入电流向量:

$$I_{(1)} = \begin{pmatrix} \dot{I}_{s1} + \dot{I}_{1(1)} \\ \dot{I}_{s2} + \dot{I}_{2(1)} \\ -\dot{I}_{2(1)} \\ -\dot{I}_{1(1)} \end{pmatrix}, I_{(2)} = \begin{pmatrix} \dot{I}_{1(2)} \\ \dot{I}_{2(2)} \\ -\dot{I}_{2(2)} \\ -\dot{I}_{1(2)} \end{pmatrix}, I_{(0)} = \begin{pmatrix} \dot{I}_{1(0)} \\ \dot{I}_{2(0)} \\ -\dot{I}_{2(0)} \\ -\dot{I}_{1(0)} \end{pmatrix} \quad (10)$$

根据式(1)(2)(9)(10)可得到并—并型四阶的正、负、零序网的各节点电压,其矩阵表达为:

$$U_{(1)} = Z_{(1)} I_{(1)}, \quad u_{(2)} = Z_{(2)} I_{(2)}, \quad u_{(0)} = Z_{(0)} I_{(0)} \quad (11)$$

根据各序网节点电压和各序支路阻抗,可求解各序网的各支路电流:

$$\dot{I}_{mn} = \frac{\dot{U}_m - \dot{U}_n}{Z_{mn}} \quad (12)$$

式中:

\dot{I}_{mn} ——为mn节点的支路电流

\dot{U}_m, \dot{U}_n ——为m和n节点电压

Z_{mn} ——为mn节点间的支路阻抗

电力系统任意节点的各相电压和任意支路的各相电流:

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_A \\ \dot{U}_B \\ \dot{U}_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{u}_{(0)} \\ \dot{u}_{(1)} \\ \dot{u}_{(2)} \end{pmatrix} \quad (13)$$

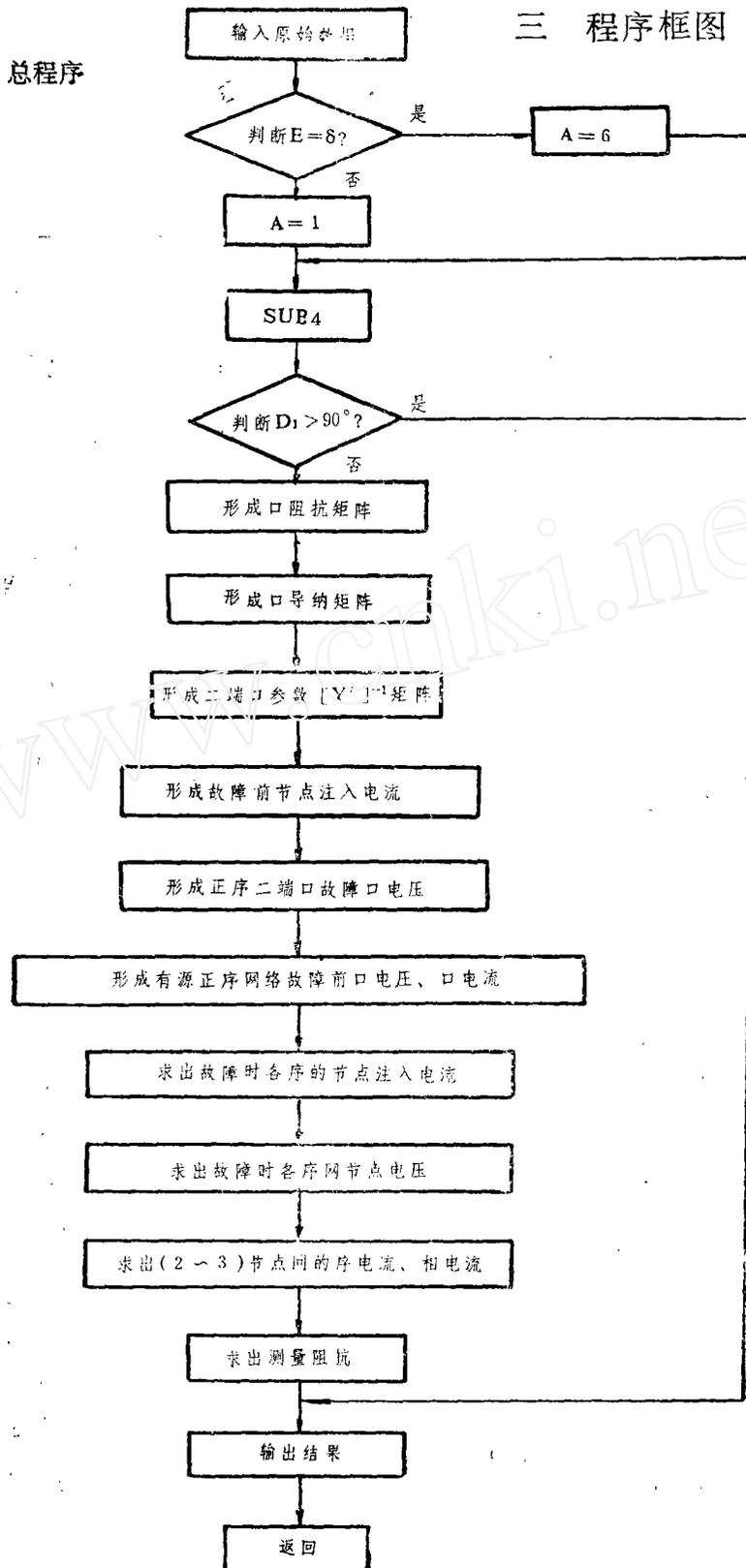
$$\begin{pmatrix} \dot{I}_A \\ \dot{I}_B \\ \dot{I}_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{I}_{(0)} \\ \dot{I}_{(1)} \\ \dot{I}_{(2)} \end{pmatrix} \quad (14)$$

接地距离继电器测量阻抗

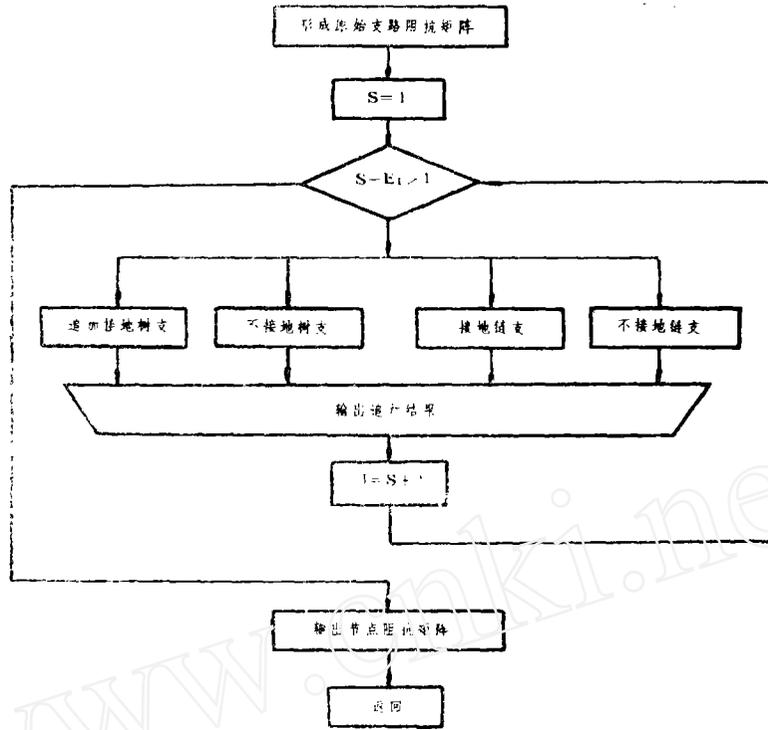
$$\left. \begin{aligned} Z_A &= \frac{\dot{U}_A}{\dot{I}_A + K 3I_0} \\ Z_B &= \frac{\dot{U}_B}{\dot{I}_B + K 3I_0} \\ Z_C &= \frac{\dot{U}_C}{\dot{I}_C + K 3I_0} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

三 程序框图

1. 总程序



2. 子程序 (REMSUB₄)



四 结果分析

我们根据计算机打印出的结果, 绘出四种情况下N侧A, B相接地距离阻抗继电器测量阻抗轨迹如图4~7所示。图中圆内为该接地距离保护I段的动作区, 整定阻抗 Z_{L1} 为85%MN线路正序阻抗。

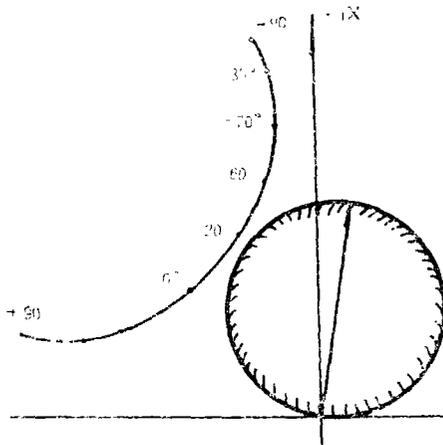


图4 第一种情况下, N侧A相接地阻抗继电器测量阻抗的轨迹

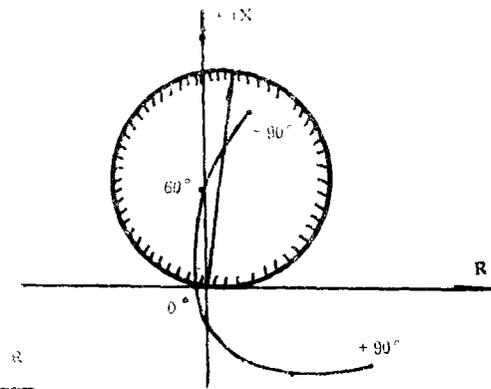


图5 第二种情况下, N侧B相接地阻抗继电器测量阻抗的轨迹

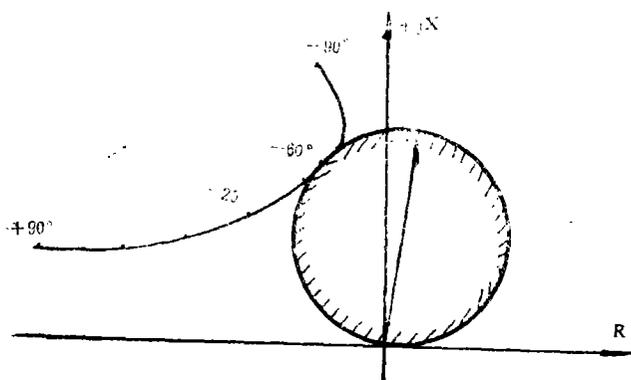


图6 第三种情况下，N侧A相阻抗继电器测量阻抗的轨迹

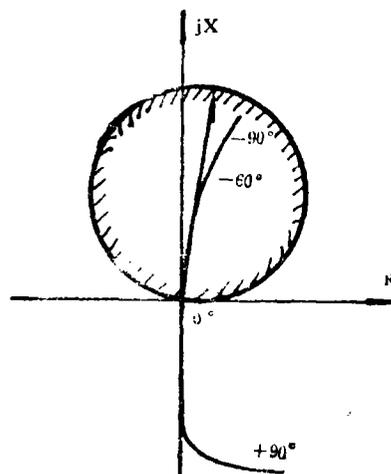


图7 第四种情况下，N侧B相阻抗继电器测量阻抗的轨迹

由图可见：第一、三种情况下，即故障相的超前相先跳开时，接地距离阻抗继电器超越并不严重；而在第二、四种情况下，即故障相的滞后相先跳开时，接地距离阻抗继电器有严重的超越。这种超越要引起保护的误动作，所以必须采取措施消除。

五 改进措施

前述I段接地距离保护的误动，可以通过调整其振荡闭锁开放时间 $t_{zA \cdot B}$ 来消除。以第二种情况为例，当图1中M侧出口处发生AB相短路，且M侧B相断路器先跳开的情况下，N侧接地I段B相阻抗继电器的动作时间 t_{dz} 为：

$$t_{dz} = t_{dz \cdot M \cdot B} + t_{T \cdot B} + t_{dz \cdot NB \cdot ZK}$$

式中： $t_{dz \cdot M \cdot B}$ ——M侧B相保护动作时间；

$t_{T \cdot B}$ ——M侧B相断路器跳闸、熄弧时间；

$t_{dz \cdot NB \cdot ZK}$ ——N侧接地I段B相阻抗继电器动作时间。所以只要使：

$$t_{zA \cdot B} < t_{dz}$$

问题就可以解决。

采用这种措施后，为了保证区内故障时保护能可靠跳闸，保护出口继电器应带有电流自保持回路。

参考文献

1. 在复杂故障条件下距离继电器动作行为分析 江世芳
2. 电力系统继电保护基础 山东工业大学王广廷主编
3. 电力系统故障分析 华北电力学院主编