

# 方向阻抗继电器 测量阻抗及动作行为分析

山东工学院 江世芳 曲青

(上)

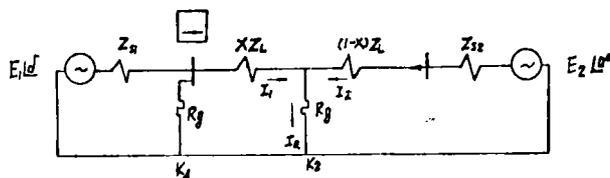
## 引言

我院研制了500千伏输电线高频闭锁距离保护装置。在此基础上,本文利用我院电力系统计算中心电子计算机(TQ-16)对方向阻抗继电器进行计算分析。首先,提出了针对两端电源电势角变化时,在输电线任意点经过渡电阻发生各种短路故障条件下,方向阻抗继电器测量阻抗轨迹方程式;据此编出计算机源程序,并针对我国某系统即将建设的500千伏输电线进行计算,得出结果;同时,还对相间阻抗继电器和相电压,相电流加另序补偿的接地阻抗继电器随电势角变化,过渡电阻改变,故障相和非故障相阻抗继电器动作行为进行计算分析。

### 一、两端电源三相短路时,阻抗继电器测量阻抗

#### (一) 正相三相短路时,阻抗继电器测量阻抗。

如图(1-1)所示,两端电源的电力系统中。 $E_2 \angle 0^\circ$ 为系统参考坐标, $\delta$ 表示两测电势 $E_1 E_2$ 间摆开角度。 $+\delta$ 表示 $E_1$ 领先 $E_2$ 的角度,即 $E_1$ 为送电侧。 $-\delta$ 表示 $E_1$ 落后 $E_2$ 的角度,即 $E_1$ 为受电侧。



图(1-1)三相短路时系统单线图

$ZL$ ——被保护线路阻抗。 $x$ 表示故障点位置,如 $x=0; 0.5; 1$ ,分别表示线路的始端,中分点,末端。

$ZS1, ZS2$ ——分别表示 $E_1, E_2$ 电源阻抗。

$R_g$ ——过渡电阻。

根据图(1-1), 列出三相短路时方程(所有电势、电压电流均为复量值)

$$\left. \begin{aligned} I_1(Z_{S1} + xZ_L + R_g) + I_2R_g &= E_1 \\ I_1R_g + I_2[Z_{S2} + (1-x)Z_L + R_g] &= E_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

解(1-1)得:  $I_1 = \frac{E_1[Z_{S2} + (1-x)Z_L + R_g]}{(Z_{S1} + xZ_L + R_g)[Z_{S2} + (1-x)Z_L + R_g] - R_g^2} \quad (1-2)$

$$I_2 = \frac{E_2(Z_{S1} + xZ_L + R_g) - E_1R_g}{(Z_{S1} + xZ_L + R_g)[Z_{S2} + (1-x)Z_L + R_g] - R_g^2} \quad (1-3)$$

故障点电流:  $I_a = I_1 + I_2 \quad (1-4)$

正向三相短路时继电器测量阻抗:

$$Z_j = xZ_L + \frac{I_a R_g}{I_1} = xZ_L + \frac{E_2(Z_{S1} + xZ_L) + (1-x)Z_L + Z_{S2}}{(1-x)Z_L + Z_{S2} + R_g(1 - \frac{E_2}{E_1})} R_g \quad (1-5)$$

继电器测量阻抗( $Z_j$ )是线路阻抗( $xZ_L$ ), 两侧电势角( $\delta$ )、过渡电阻( $R_g$ )的函数。根据(1-5)式, 分别令 $x = 0, 0.5, 1$ ;  $\delta = -80^\circ, -60^\circ, -40^\circ, -20^\circ, 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 80^\circ$ ;  $R_g = 0^\circ, 0.2^\circ, 0.5^\circ, 1^\circ, 1.5^\circ, 2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ$ , 由计算机算出正向三相短路时, 继电器测量阻抗轨迹, 如图(1-2)。结论如下。

(1) 两端电源经过渡电阻发生三相短路时, (图1-2中 $K_1, K_3$ 点故障, 线路阻抗角等于电源阻抗角), 当电源两侧电势角为 $0^\circ$ 时(故障前线路空载), 继电器所感受到过渡电阻为纯电阻性质, 其轨迹为平行 $R$ 轴直线, 而且不受故障点位置改变而保持其电阻性质。

必须指出: 当线路阻抗角和电源阻抗角不等时, 如: 针对将建设的某系统500千伏线路有关参数,  $\varphi_{Z_{S1}} = 90^\circ, \varphi_{Z_{S2}} = 81.86^\circ, \varphi_L = 84.2^\circ$ , 由计算机计算所得的继电器测量阻抗轨迹可见(图形未划出), 当线路空载故障时, 继电器感受过渡电阻不是纯电阻性质, 即不平行 $R$ 轴直线, 而是与 $R$ 轴构成某一小角度增加的直线, 而且随着故障点位置的改变该直线的斜率是不变的。由此可见, 线路阻抗角和电源阻抗角不等时(或者说系统的运行方式改变时), 对继电器测量阻抗轨迹有较显著影响。

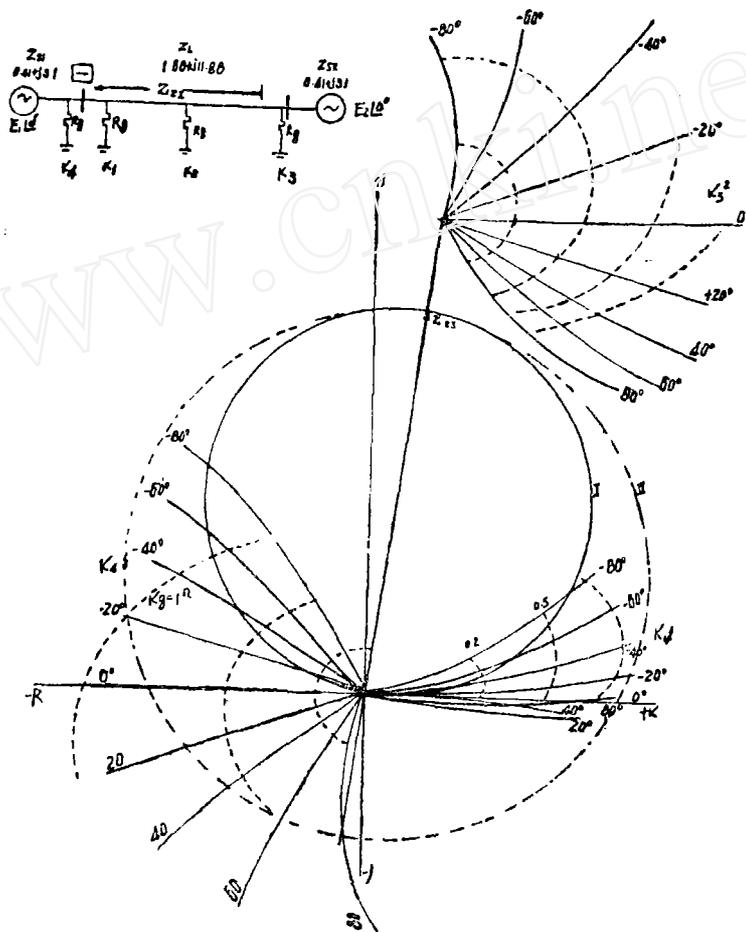
作为受端( $0 \rightarrow -80^\circ$ )继电测量阻抗是增加的, 致使继电器在继路末端故障时发生保护范围缩短, 可能拒绝动作。

(2) 如果过渡电阻值( $R_g$ )不变。并且 $|E_1| = |E_2|, \varphi_{Z_{S1}} = \varphi_{Z_{S2}} = \varphi_L$ , 则随着电势角的变化( $-80^\circ \rightarrow +80^\circ$ ), 继电器测量阻抗轨迹为圆弧, 如图(1-2)中虚线所示。

(3) 关于确定继电器反映过渡电阻能力问题:

当输电线被保护范围内, 发生经过渡电阻短路时, 如何确定继电器能够允许的最大过渡电阻值? 这对于评价在保护安装处发生故障时的电弧电阻对保护动作行为的影响和受过渡电阻影响很大的短线距离保护的动作为更有实际价值。如所周知, 利用记忆作用而得到的继电器动态特性圆和利用极化电压中健全相电压作用而得到的动态圆, 在对

称和不对称故障时，能够提高继电器反映弧光电阻能力。欲求得允许的过渡电阻值，必须同时把继电器的测量阻抗轨迹和在同样条件下继电器实际动作特性在复平面上进行对比求得。如图（1—2）示出，圆Ⅱ（点线）是继电器动态圆（ $t = 0''$ ），圆Ⅰ为静态圆。求得特性圆Ⅰ、Ⅱ和测量阻抗轨迹交点，就可以分别得到在线路运行条件下继电器能够允许的最大过渡电阻值。



图（1—2）正向、反向三相短路时，继电器测量阻抗  
（图中示出Ⅰ段特性圆，正定阻抗 $Z_{Z1} = 0.8Z_L$ ），  
 $|E_1| = |E_2|$ ， $\varphi_{ZS1} = \varphi_{ZS2} = \varphi_L$

还需指出，继电器动态特性圆仅仅在故障开始时（ $t = 0''$ ）理论上存在的，它随继电器固有动作时间，极化量选取的方式和数值，以及系统运行情况等很多因素而变化。再者，由于求解动态圆衰减过程是比较复杂的问题，所以由 $t = 0''$ 的动态圆所确定的最大过渡电阻值只是初步估计。当然，对静态圆所确定的过渡电阻值是准确的。

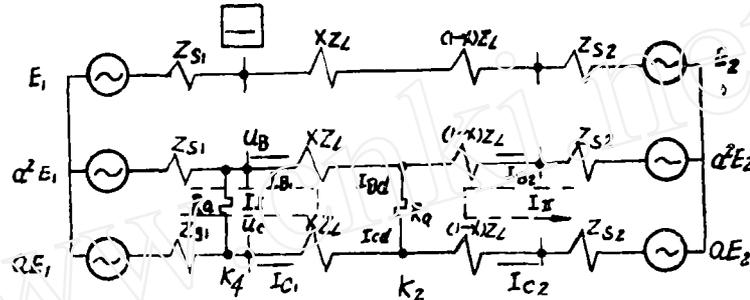
### （二）反向三相短路时，抗阻继电器测量阻抗

故障点为 $K_4$ ，见图（1—1）。令（1—2）（1—3）， $x = 0$ ，得：



## 二、两端电源两相短路阻抗继电器测量阻抗

### (一) 正向两相短路继电器测量阻抗



图(2-1) 两相短路系统图

图中:  $Z_1 = Z_{S1} + xZ_L$ ,  $Z_2 = (1-x)Z_L + Z_{S2}$ ,  $Z = Z_1 + Z_2 = Z_{S1} + Z_{S2} + Z_L$ 。  
根据图(2-1)列方程: (故障点为  $K_2$ )

$$\begin{cases} I_1 (2Z_1 + R_a) + I_1 R_a = E_1 (a^2 - a) \\ I_1 R_a + I_1 (2Z_2 + R_a) = E_2 (a^2 - a) \end{cases} \quad (2-1)$$

解(2-1)得线路故障电流  $I_1$ 、 $I_2$ :

$$\begin{cases} I_{B1} = -I_{C1} = I_1 = \frac{(a^2 - a) [E_1 (2Z_2 + R_a) - E_2 R_a]}{4Z_1 Z_2 + 2ZR_a} \\ I_{B2} = -I_{C2} = I_2 = \frac{(a^2 - a) [E_2 (2Z_1 + R_a) - E_1 R_a]}{4Z_1 Z_2 + 2ZR_a} \end{cases} \quad (2-2)$$

故障点故障电流:

$$I_{Bd} = -I_{Cd} = I_1 + I_2 = \frac{(a^2 - a) (E_1 Z_2 + E_2 Z_1)}{2Z_1 Z_2 + ZR_a} \quad (2-3)$$

继电器处电压:

$$\begin{aligned} u_1 = u_{BC} = u_B - u_C &= (u_{Bd} + I_{B1} \cdot xZ_L) - (u_{Cd} + I_{C1} \cdot xZ_L) \\ &= \frac{(a^2 - a) \{ E_1 [(2Z_2 + R_a) \cdot xZ_L - Z_2 R_a] + E_2 [Z_1 R_a - xZ_L \cdot R_a] \}}{2Z_1 Z_2 + 2R_a} \end{aligned}$$

继电器电流:

$$I_1 = I_{B1} - I_{C1} = \frac{(a^2 - a) [E_1 (2Z_2 + R_a) - E_2 R_a]}{2Z_1 Z_2 + ZR_a}$$

正向两相短路测量阻抗:

$$Z_1 = \frac{u_1}{I_1} = \frac{2[Z_{S2} + (1-x)Z_L]xZ_L + (Z_{S2} + Z_L)R_a + \frac{E_2 Z_{S1} R_a}{E_1}}{2[Z_{S2} + (1-x)Z_L] + (1 - \frac{E_2}{E_1})R_a} \quad (2-4)$$

根据式(2-4),由计算机算出两相短路(BC相),故障相继电器测量阻抗轨迹。所得到的曲线和分析与三相短路情况类似,见图(1-2)。

(二)反向两相短路时继电器测量阻抗:

如图(2-1)所示,故障点为 $K_4$ 点。令 $x=0$ ,相应参数为:

$$Z_1 = Z_{S1}, Z_2 = Z_{S2} + Z_L, Z = Z_{S1} + Z_{S2} + Z_L,$$

继电器处电压:

$$u_f = I_{Bd} R_a = \frac{(a^2 - a)(E_1 Z_2 + E_2 Z_1)}{2 Z_1 Z_2 + Z R_a} R_a,$$

继电器电流:

$$I_f = 2 I_{Bd} = \frac{(a^2 - a)[E_2(2 Z_1 + R_a) - E_1 R_a]}{2 Z_1 Z_2 + Z R_a}.$$

反向两相短路继电器测量阻抗:

$$Z_f = -\frac{u_f}{I_f} = \frac{\left[ Z_{S3} + Z_L + \frac{E_2}{E_1} Z_{S1} \right] R_a}{\frac{E_2}{E_1} (2 Z_{S1} + R_a) - R_a} \quad (2-5)$$

根据式(2-5)由计算机算出故障相继电器测量阻抗轨迹,它与三相短路时类似,见图(1-2)。但须指出,和反向三相短路相比,由于引入健全相电压方式,减少了误动的可能性。