

# LH—11型测量继电器动态分析

吉林省电力勘测设计院 吕 强

## 一 前 言

LH—11型继电器，不少的人，用不同的办法，进行过分析。但是大多是静态下的。即便有的同志对动态情况作了一些分析，但都用的是动态特性函数的办法。实际上用特殊园分析，解决的问题还是不够的。

我提出一个办法，试图对这方面问题进一步分析。今把分析结果写下：

## 二 LH—11中测量继电器暂态分析

### 1. 动作方程

设极化变压器，电抗变压器的两绕组是平衡的。动作方程：

$$\left| \dot{U}_I - (\dot{U}_Y - \dot{U}_K) \right| \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} \left| \dot{U}_I + (\dot{U}_Y - \dot{U}_K) \right| \dots\dots\dots 2-1$$

或  $\left| \dot{U}_I - (\dot{U}_Y - \dot{U}_K) \right|^2 \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} \left| \dot{U}_I + (\dot{U}_Y - \dot{U}_K) \right|^2 \dots\dots\dots 2-2$

式中 > 对应动作状态；  
= 对应临界状态；  
< 对应制动状态。

利用附录将 2—2 式展开：

$$U_I^2 + U_Y^2 + U_K^2 - 2U_I U_Y \cos \phi_{IY} + 2U_I U_K \cos \phi_{IK} - 2U_Y U_K \cos \phi_{YK} \\ \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} U_I^2 + U_Y^2 + U_K^2 + 2U_I U_Y \cos \phi_{IY} - 2U_I U_K \cos \phi_{IK} - 2U_Y U_K \cos \phi_{YK}$$

整理后得：

$$U_I U_K \cos \phi_{IK} \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} U_I U_Y \cos \phi_{IY} \dots\dots\dots 2-3$$

2—3 就是暂态下的“动态”方程：

$U_I$ —极化电压幅值

$U_K$ —电抗变压器电压幅值

$U_Y$ —测量变压器电压幅值

$\phi_{IK}$ —复量  $\dot{U}_I$  与  $\dot{U}_K$  夹角

2-3式说明只要 $U_I \neq 0$ , 则不等式与 $U_I$ 的幅值无关。

如果 $U_I \neq 0$ , 把方程2-3两边除 $I^2$ , 并设,

$$\frac{U_I}{I} = Z_I, \quad \frac{U_Y}{I} = \dot{Z}_Y$$

$$\therefore Z_I Z_K \cos \phi_{IK} \geq Z_I Z_Y \cos \phi_{IY}$$

$$\therefore Z_K \cos(\phi_{IK}) \geq Z_Y \cos \phi_{IY} \dots\dots\dots 2-4$$

方程2-4式本质是, 向量 $\dot{Z}_K$ 、 $\dot{Z}_Y$ 分别在 $\dot{U}_I$ 上投影长度的比较。

在暂态过程中 $\phi_{IK}$ 、 $\phi_{IY}$ 都是时间函数。

### 2. 方程式的分析(广义)

如果我们设 $\phi_{IX}$ 、 $\phi_{IY}$ 取值不受限制, 那么就方程2-4式结合图2-1就可以得出下列结论来。

(1) 若 $-90^\circ < \phi_{IK} < 90^\circ$ 时只要 $\dot{Z}_Y$ 的端点落在MN直线“O”点所在的一侧时, 不管 $\phi_{IY}$ 取什么值, 都能满足方程

$$Z_K \cos \phi_{IK} > Z_Y \cos \phi_{IY} \dots\dots\dots 2-5$$

就是说继电器处于动作状态。

证:  $\because -90^\circ < \phi_{IK} < 90^\circ$

$$\therefore Z_K \cos \phi_{IK} > 0$$

又 $\because \dot{Z}_Y$ 端点在直线MN“O”侧

| $\phi_{IY}$ |  $\leq 90^\circ$ 时, 有 $Z_Y \cos \phi_{IY} > 0$  (距离继电器特性)

| $\phi_{IY}$ |  $> 90^\circ$ 时,  $Z_Y \cos(\phi_{IY}) < 0$  (方向继电器特性)

$$\therefore Z_K \cos \phi_{IK} > Z_Y \cos \phi_{IY} \dots\dots\dots 2-6$$

(2) 若 $-90^\circ < \phi_{IK} < 90^\circ$ ,  $\dot{Z}_Y$ 的端点在MN直线“O”点所在的异侧, 则满足方程式:

$$Z_K \cos \phi_{IK} < Z_Y \cos \phi_{IY} \dots\dots\dots 2-7$$

就是说继电器处于制动状态。(区外故障)

证明: 从图2-1看是很显然的。

(3) 若 $-90^\circ < \phi_{IK} < 90^\circ$ ,  $\dot{Z}_Y$ 的端点在MN直线上时, 则满足方程式:

$$Z_K \cos \phi_{IK} = Z_Y \cos \phi_{IY} \dots\dots\dots 2-8$$

就是说继电器处于临界状态。

(4) 若 $|\phi_{IK}| > 90^\circ$ ,  $\dot{Z}_K$ 的端点只要落直线MN“O”点侧时就能满足方程式:

$$Z_K \cos \phi_{IK} < Z_Y \cos \phi_{IY} \dots\dots\dots 2-9$$

继电器制动。

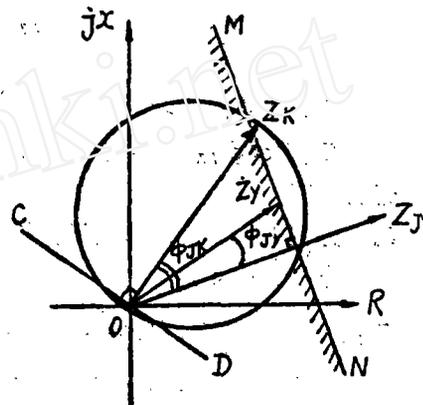


图2-1

证明:

$$\because |\phi_{JK}| \geq 90^\circ \quad \therefore Z_K \cos \phi_{JK} < 0$$

如果  $\dot{Z}_Y$  的端点落在  $MN$  直线“ $O$ ”点侧时

那么当  $\phi_{JY} > 90^\circ$  时, 有  $Z_Y \cos \phi_{JY} < 0$

也有:  $Z_K \cos \phi_{JK} < Z_Y \cos \phi_{JY}$

当  $\phi_{JY} < 90^\circ$  时 更有

$$Z_K \cos \phi_{JK} < Z_Y \cos \phi_{JY} \quad \dots\dots\dots 2-10$$

(5) 若  $|\phi_{JK}| > 90^\circ$ ,  $\dot{Z}_C$  的端点只要落在  $MN$  直线“ $O$ ”点所在直线异侧时就有

$$Z_K \cos \phi_{JK} > Z_Y \cos \phi_{JY} \quad \dots\dots\dots 2-11$$

证明: 略

(6) 若  $|\phi_{JK}| > 90^\circ$ ,  $\dot{Z}_C$  的端点落在  $MN$  上时就有

$$Z_K \cos \phi_{JK} = Z_Y \cos \phi_{JY} \quad \dots\dots\dots 2-12$$

证明: 略

### 3. 方程 2-4 实用情况下分析

方程 2-4 为

$$Z_K \cos \phi_{JK} \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} Z_Y \cos \phi_{JY} \quad \dots\dots\dots 2-13$$

在一般情况下,  $\phi_{JY}$  的值总是小于  $90^\circ$  的。所以一般情况下  $Z_Y \cos \phi_{JY} > 0$ , 当保护在正方向区外故障时, 由 2-7 式知保护不会动作。正方向区内故障时由 2-6 式知, 继电器会动作。当反方向故障时, 由于  $|\phi_{JK}| > 90^\circ$ , 和  $|\phi_{JY}| < 90^\circ$  由 2-9 式知继电器不会动作。参见图 2-2。

方程 2-3 式临界时, 时可以写成

$$Z_x = \frac{Z_K \cos \phi_{JK}}{\cos \phi_{JY}} \quad \dots\dots\dots 2-14$$

从 2-14 式可以得出下列结论来:

(1) 当  $\phi_{JY}$  为常量时,  $\phi_{JK}$  为变量时, 方程 2-14 在复坐标中代表一个圆。这是自然的。

(2) 如果测量电压  $U_Y$ , 与极化电压  $U$ , 都从电阻“ $R$ ”上取得, 那么  $LH-11$  测量继电器动态特性为一个圆。如果极化回路阻抗角为零时, 这个圆就是整定圆。

(3) 关于动态特性区

在动态时  $\phi_{JY}$  是不断变化的。显然方程式 2-14 不会是圆。用“动态特性圆”来描绘, 也描绘不清楚。

在暂态过程中,  $\dot{Z}_J$  是不断的改变它的位置, 最终与  $\dot{Z}_Y$  保持固定相应。极化回路的阻抗角为零时, 与  $\dot{Z}_Y$  保持同相位。

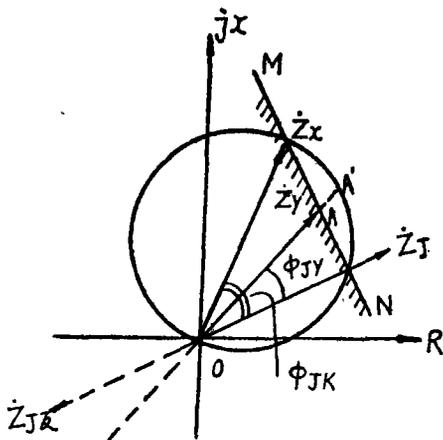


图 2-2

每一瞬间  $\dot{Z}$  都有一个固定位置，可是在短路时由于有弧光电阻的影响， $\dot{Z}$  的端点在临界状态在同一瞬间可能有不同的位置。这些位置只能落在同一瞬间的  $MN$  直线上。只不过由于  $\phi_{jY}$  在一定范围内取值，这些点只能占直线  $MN$  上一小段。

在暂态过程中由于  $\dot{Z}$  不断改变位置，所以  $MN$  也不断改变位置。

4. 极化电压暂态过程对弧光电阻短路的影响。

为简便起见，设线路阻抗角等于最大灵敏角。极化回路阻抗角为零。

假定在短路初瞬时， $\dot{Z}$  处于图 2-3 中的位置。那么短路点电气距离小于  $\overline{OB}$  时有利于弧光电阻短路，电气距离大于  $\overline{OB}$  时不利于弧光电阻短路。（与整定园相比较而言）

由于  $\dot{Z}$  向  $\dot{Z}_K$  不断转动，所以  $\overline{OB}$  也不断增长。

5. 本分析法一个应用。

某变电站在反方向有串补电容器。正方向有相当于“LH-11”型距离保护。试分析反方向经容抗短路时，保护动作的行为。并求出  $X_c$  为何值保护始终不误动作。

设在短路前功率因数角为  $\phi$ 。由于二次回路暂态过程，在短路瞬间  $\dot{Z}$  处于  $\dot{Z}_{j0}$  位置。如不计弧光电阻影响，则测量元件感到阻抗为  $X_c$ 。 $\dot{Z}_{j(0)}$  随着时间增长按顺时针方向  $-jx_c$  转动。当时间为  $t = \infty$  时， $\dot{Z}$  与  $-jx_c$  同相。

在  $\dot{Z}$  未转过直线  $COD$  时， $|\phi_{JK}| > 90^\circ$ ，而  $\phi_{jY} < 90^\circ$ ，所以据 2-11 或在  $t = 0$

$$X_c \geq \frac{Z_K \cos(\phi_K - \phi_0)}{\sin \phi_0} \text{ 时保护不会误动。}$$

$$\text{在 } t = 0 \quad X_c \leq \frac{Z_K \cos(\phi_K - \phi_0)}{\sin \phi_0} \text{ 时据 2-10 式保护不会误动作}$$

当  $\dot{Z}$  转过直线  $OD$  后，由于  $\phi_{JK} < 90^\circ$ ，据 2-6，2-7 式知在整个暂态过程中  $X_c > Z_K \cdot \sin \phi_K$  时，保护不会误动作。

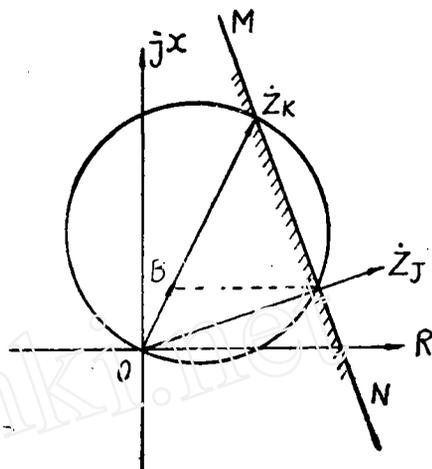


图 2-3

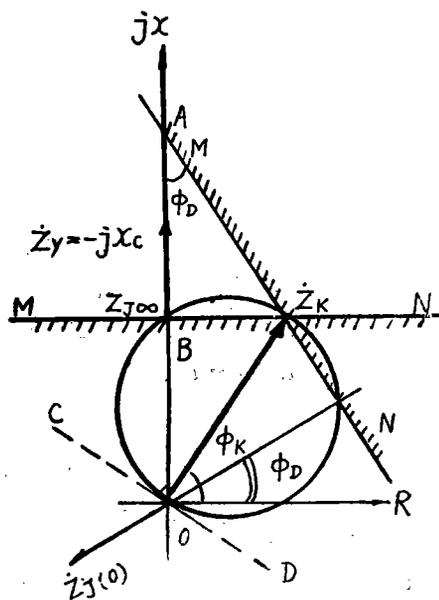


图 2-4

在整个暂态过程中,  $X_c < Z_K \cdot \sin \phi_K$  时, 保护会误动作, 所以在暂态过程中反方向经容抗短路时, 不会误动作的条件为:

$$Z_K \sin \phi_K < X_c < \frac{Z_K \cos(\phi_K - \phi_0)}{\sin \phi_0}$$

## 附录 向量投影定理:

几个平面向量在该平面上任一条直线上投影代数和等于几个向量和在该直线上投影。

由上面定理可证出下面定理:

定理: 有几个平面复量  $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dots, \dot{U}_n$ 。定有

$$\begin{aligned} & |\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dots + \dot{U}_n|^2 \\ &= U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2 + 2U_1U_2\cos\phi_{12} + 2U_1U_3\cos\phi_{13} + \dots \\ &+ 2U_1U_n\cos\phi_{1n} + 2U_2U_3\cos\phi_{23} + \dots + U_{n-1}U_n\cos\phi_{n-1n} \\ & \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

$U_i$ — $\dot{U}_i$  的幅值;

$\phi_{ij}$ —为  $\dot{U}_i$  与  $\dot{U}_j$  复量夹角。

用数学归纳法来证明:

当  $K=2$  真(余弦定理)

令  $K=n-1$  真

$K=n$  时为

$$\begin{aligned} |\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dots + \dot{U}_n|^2 &= |\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dots + \dot{U}_{n-1}|^2 + U_n^2 + 2|\dot{U}_1 + \dot{U}_2 \\ &+ \dots + \dot{U}_{n-1}| U_n \cos \phi_{1n-1, n} \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

式中:  $\phi_{1n-1, n}$  为  $\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dots + \dot{U}_{n-1}$  和  $\dot{U}_n$  的夹角由向量投影定理有

$$\begin{aligned} & 2|\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dots + \dot{U}_{n-1}| U_n \cos \phi_{1n-1, n} \\ &= 2U_1U_n \cos \phi_{1n} + 2U_2U_n \cos \phi_{2n} + \dots + 2U_{n-1}U_n \cos \phi_{n-1n} \\ & \dots \dots (3) \end{aligned}$$

把(2)式中前项按  $K=n-1$  真, 代入, 再把(3)式代入, 就得(1)式。证毕。