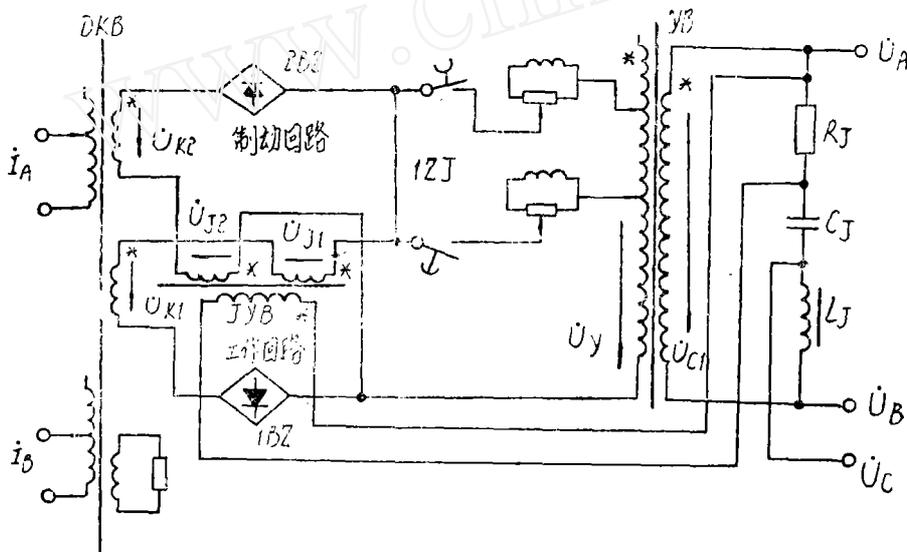


# LH-11测量阻抗继电器的简单分析

江西工学院 田雨生

## 一、具有极化电压的阻抗继电器

在LH-11型距离保护装置中，采用具有极化电压 $\dot{U}_y$ 的方向阻抗继电器作为测量元件，其原理图如图一。由于加入了极化电压（或称插入电压），使该继电器消灭了死区。但是，由于 $\dot{U}_y$ 的引入，使分析和调试均复杂，一九七六年本刊第1期曾有专文对此作了详细分析，本文企图用另一较简方法进行分析，目的使读者和现场技术人员更易接受。



图一

大家知道，该继电器有两个电压回路供电给执行动作的整流型继电器。

其一为工作回路，工作电压为：

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{11} - (\dot{U}_y - \dot{U}_{K1}) \quad (1)$$

其二为制动回路，制动电压为：

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_{12} + (\dot{U}_y - \dot{U}_{K2}) \quad (2)$$

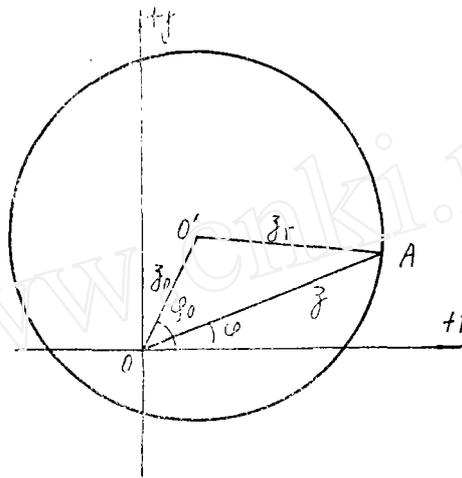
若  $|U_1| > |U_2|$ ，继电器动作，而  $|U_1| = |U_2|$  为继电器动作的边界状况由此可确定测量阻抗的动作特性。正常情况下，它是一个经过原点的园，若参数配合有误差，则此园对原点有偏移。

## 二、分析的数学基础

### 1. 已知园的轨迹，如何确定园的方程

图二绘出一复平面上的园，由于考虑到一般情况，设此园并不经过原点有所偏移。

图中O为坐标原点。O'为园心，其位置用极坐标表示为  $Z_0 = 3_0 \angle \varphi_0$ 。A为园上任一点，用极坐标表示为  $Z = 3 \angle \varphi$ 。O'A的长度为园的半径，设  $|O'A| = 3_r$ 。



图二

显然，对  $\triangle OO'A$  用余弦定律，便有：

$$3_r^2 = 3^2 + 3_0^2 - 2 \cdot 3 \cdot 3_0 \cdot \cos(\varphi_0 - \varphi)$$

移项，得

$$3^2 - 2 \cdot 3 \cdot 3_0 \cdot \cos(\varphi_0 - \varphi) = 3_r^2 - 3_0^2 \quad (3)$$

方程式 (3)，便是图二所示园的方程式；可以看出，若  $3_r > 3_0$ ，则原点在园内； $3_r < 3_0$ ，则原点在园外； $3_r = 3_0$ ，园经过原点。

### 2. 已知园的方程式，如何确定园

根据上面的分析，若有一变量  $Z = 3 \angle \varphi$  满足下列方程式：

$$3^2 - 2 \cdot 3 \cdot a \cdot \cos(\theta - \varphi) = b \quad (4)$$

则  $Z = 3 \angle \varphi$  的轨迹必为一园，

园心的位置为  $Z_0 = 3_0 \angle \varphi_0$

$$\text{式中， } 3_0 = a \quad \varphi_0 = \theta \quad (5)$$

园的半径为  $3_r$ 。

$$\text{而 } 3_r = \sqrt{b+a^2} \quad (6)$$

若  $b=0$ ,  $3_r = a = 3_0$

$b > 0$   $3_r > 3_0$ , 原点在园内,

$b < 0$   $3_r < 3_0$ , 原点在园外。

### 三、阻抗特性方程

现在针对 LH-11 中的测量元件进行分析。

从方程式 (1) (2) 出发:

$$\text{设 } \dot{U}_{11} = K_{11} \dot{U}_{c1} \beta,$$

$$\dot{U}_{12} = K_{12} \dot{U}_{c1} \beta,$$

在正常情况下,  $K_{11} = K_{12}$ ,  $\beta = 0$ 。

$$\dot{U}_r = K, \dot{U}_{c1} = K, \dot{I} Z$$

$\dot{U}_{c1}$ ——继电器测量电压, 例如  $\dot{U}_{c1} = \dot{U}_{AB}$ ;

$Z$ ——继电器测量阻抗;

$\dot{I}$ ——继电器测量电流, 例如  $\dot{I} = \dot{I}_A - \dot{I}_B$ 。

$$\text{令 } \dot{U}_{K1} = \dot{I} K_{K1} \varphi_K,$$

$$\dot{U}_{K2} = \dot{I} K_{K2} \varphi_K,$$

在正常情况下,  $K_{K1} = K_{K2}$ ,  $\varphi_K$  应和输电线的阻抗角相等。

将上列诸关系式代入方程 (1), 得

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= K_{11} \dot{U}_{c1} \beta - [K_r \dot{I} 3 \varphi - \dot{I} K_{K1} \varphi_K] \\ &= \dot{I} [K_{11} 3 \cos(\varphi + \beta) - K_r 3 \cos \varphi + K_{K1} \cos \varphi_K] \end{aligned}$$

将上式右端括弧中的复数分别展开为实部和虚部:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{I} [K_{11} 3 \cos(\varphi + \beta) - K_r 3 \cos \varphi + K_{K1} \cos \varphi_K \\ &\quad + jK_{11} 3 \sin(\varphi + \beta) - jK_r 3 \sin \varphi + jK_{K1} \sin \varphi_K] \quad (7) \end{aligned}$$

同理, 由方程 (2) 可得:

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= \dot{I} [K_{12} 3 \cos(\varphi + \beta) + K_r 3 \cos \varphi - K_{K2} \cos \varphi_K \\ &\quad + jK_{12} 3 \sin(\varphi + \beta) + jK_r 3 \sin \varphi - jK_{K2} \sin \varphi_K] \quad (8) \end{aligned}$$

继电器动作条件为:  $|U_1| = |U_2|$

$$\text{或 } U_1^2 = U_2^2 \quad (9)$$

因此, 考虑 (7)、(8) 和 (9) 式, 注意到

$|a + jb|^2 = a^2 + b^2$ , 分别求  $U_1^2$  和  $U_2^2$ , 得:

$$\begin{aligned} U_1^2 &= I^2 [K_{11}^2 3^2 + K_r^2 3^2 + K_{K1}^2 - 2K_{11} K_r 3^2 \cos \beta \\ &\quad - 2K_r K_{K1} 3 \cos(\varphi_K - \varphi) + 2K_{11} K_{K1} 3 \cos(\varphi_K \\ &\quad - \beta - \varphi)] \quad (10) \end{aligned}$$

$$U_2^2 = I^2 [ K_{J2}^2 3^2 + K^2 3^2 + K_{K2}^2 + 2 K_{J2} K_{J1} 3^2 \cos \beta - 2 K_{J1} K_{K2} 3 \cos (\varphi_K - \varphi) - 2 K_{J2} K_{K2} 3 \cos (\varphi_K - \beta - \varphi) ] \quad (11)$$

再让上面的两式右边相等, 消去  $I^2$ , 合并同类项, 得:

$$3^2 [ 2 K_{J1} (K_{J1} + K_{J2}) \cos \beta + K_{J2}^2 - K_{J1}^2 ] - 2 3 [ -K_{J1} (K_{K1} - K_{K2}) \cos (\varphi_K - \varphi) + (K_{J1} K_{K1} + K_{J2} K_{K2}) \cos (\varphi_K - \beta - \varphi) ] = K_{K1}^2 - K_{K2}^2 \quad (12)$$

(12) 式即为测量元件的阻抗特性。

对照 (4) 式, 在一般情况下, (12) 式所表的特性并不是一个圆。主要是方程式中  $2 3$  的系数复杂。只有  $\beta = 0$  或  $K_{K1} = K_{K2}$ , 则此方程式才是一个圆。

#### 四、阻抗特性分析

为了考虑不同因素的影响, 必须分别研究

1.  $\beta = 0$ , 即  $\dot{U}_J$  与  $\dot{U}$  同相, 也就是  $R_J$ 、 $L_J$  和  $C_J$  谐振回路良好, 由 (12) 式对照 (4)、(5)、(6) 式, 可知  $Z = 3 \angle \varphi$  阻抗轨迹为一圆。

园心的位置为  $3_0 \angle \varphi_0$

$$3_0 = \frac{K_{J1} K_{K1} + K_{J2} K_{K2} - (K_{K1} - K_{K2}) K_{J1}}{2 K_{J1} (K_{J1} + K_{J2}) + K_{J2}^2 - K_{J1}^2} \quad (13)$$

$$\varphi_0 = \varphi_K$$

园的半径为:

$$3_r = \sqrt{3_0^2 + \frac{K_{K1}^2 - K_{K2}^2}{2 K_{J1} (K_{J1} + K_{J2}) + K_{J2}^2 - K_{J1}^2}} \quad (14)$$

$$= \frac{K_{J1} K_{K2} + K_{J2} K_{K1} + (K_{K1} - K_{K2}) K_{J1}}{2 K_{J1} (K_{J1} + K_{J2}) + K_{J2}^2 - K_{J1}^2}$$

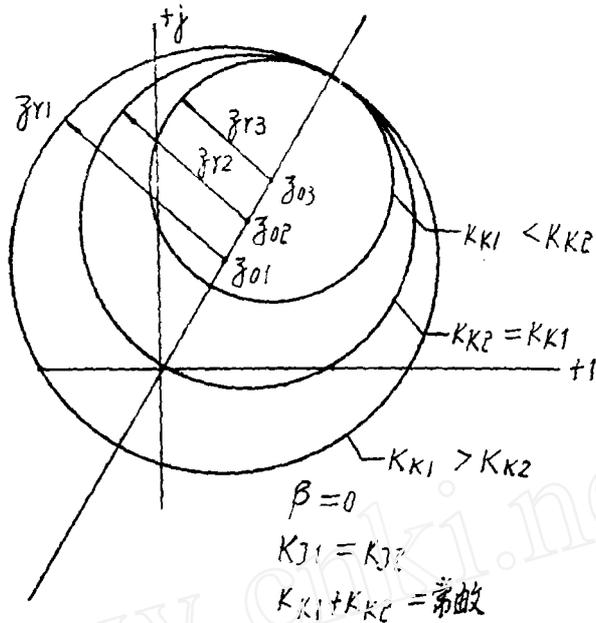
$$\text{而 } 3_r + 3_0 = \frac{(K_{J1} + K_{J2})(K_{K1} + K_{K2})}{2 K_{J1} (K_{J1} + K_{J2}) + K_{J2}^2 - K_{J1}^2} \quad (15)$$

$3_r + 3_0 = 3_{zd}$  实为最大启动阻抗值。

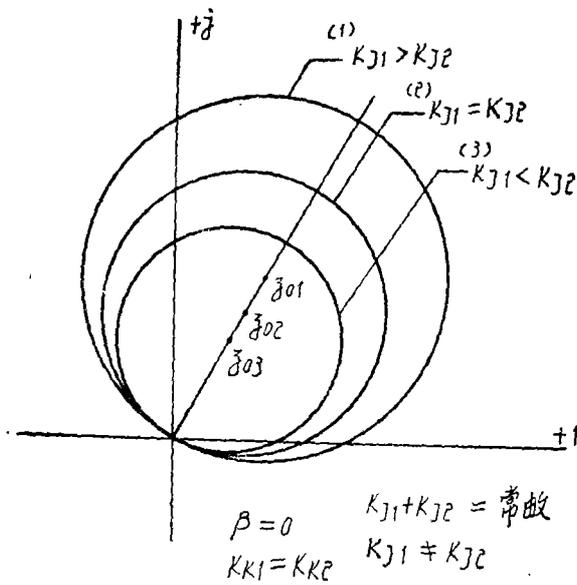
讨论: 1) 显然, 若  $K_{K1} > K_{K2}$ ,  $3_r > 3_0$ , 原点在园内;  $K_{K1} < K_{K2}$ ,  $3_r < 3_0$ , 原点在园外;  $K_{K1} = K_{K2}$ , 原点在园上。

2) 如果  $K_{J1} = K_{J2}$ , 即极化变压器的两个二次线卷对称良好, 而只有  $K_{K1} \neq K_{K2}$ , 但保持  $K_{K1} + K_{K2}$  总和不变。那么, 根据 (13)、(14) 和 (15) 三式结果, 可画出特性园如图三。注意,  $3_r + 3_0 = 3_{zd}$  在此情况下不变, 所以三个园是相切的。

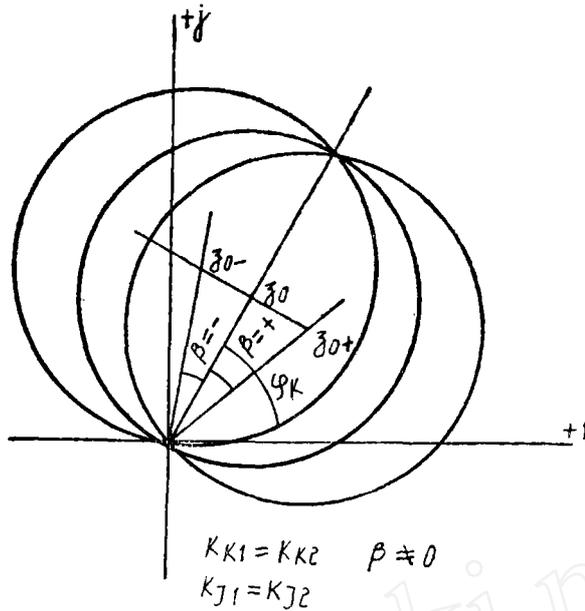
3) 讨论  $K_{K1} = K_{K2}$  的情况, 即电抗变压器两个二次线卷对称良好, 只有  $K_{J1} \neq K_{J2}$ 。那么  $3_r = 3_0$ 。因此, 不管  $K_{J1}$  和  $K_{J2}$  怎么变, 所有诸园均经过原点。若  $K_{J1} > K_{J2}$ , 园变大, 保护区伸长;  $K_{J1} < K_{J2}$ , 园变小, 保护区缩短。其特性如图四所示。



图三



图四



图五

2. 研究 $\beta \neq 0$ 的情况。此时必须有 $K_{K1} = K_{K2}$ 的情况，否则不便讨论。现在为了特出主要矛盾，再令 $K_{J1} = K_{J2}$ ，也就是说，只讨论 $\beta$ 发生变化的影响。则方程式(12)变为，

$$3^2 [ 4 K_1 K_K \cos \beta ] - 2 \beta [ 2 K_1 K_K \cos (\varphi_K - \beta - \varphi) ] = 0 \quad (16)$$

园心的位置用 $Z_0 = 3_0 \angle \varphi_0$ 表示，

$$3_0 = \frac{2 K_1 K_K}{4 K_1 K_1 \cos \beta} = \frac{1}{2} \frac{K_K}{K_1 \cos \beta} \quad (17)$$

$$\varphi_0 = \varphi_K - \beta \quad (18)$$

$$\text{而半径 } 3_r = 3_0 = \frac{1}{2} \frac{K_K}{K_1 \cos \beta} \quad (19)$$

根据 $\beta$ 值不同，可绘出特性园如图五。由图可见，若 $\beta$ 为正， $\varphi_0$ 角变小；反之，若 $\beta$ 为负，则 $\varphi_0 > \varphi_K$ 。在两种情况下，半径 $3_r$ 都会变大，但原点仍在园上。

## 五、小 结

本文的目的在于用较简单数学方法分析比较电量绝对值的阻抗继电器，既要有定量概念，又要不用过多的数学工具。其中关于园的一般概念在第二节中已专门叙述，关于复数的概念当为一般电工所熟悉。希望得到更多的批评和指正。