

# 四边形阻抗特征值分析与应用

尤田柱

(吉林省电力有限公司辽源供电公司, 吉林 辽源 136200)

**摘要** 为使继电保护定值计算精准,避免“误整定”,研究利用二维坐标对四边形特性阻抗特征值的向量要素进行了深入分析。通过“阻抗向量”与四边形特性图之关联关系的分析,揭示出“模数”算法得到的定值结果,掩盖四边形特性阻抗保护装置对电网实际阻抗感测失真的隐秘机理。这种机理将导致原设电阻分量可靠系数发生变异、阻抗灵敏度校验值虚假的结果。经过数学分析及逻辑判断,推导出一种针对四边形阻抗定值有关项整定计算及校验的适用计算式,用以反映可靠系数变异程度和从灵敏度分解结果中筛出去伪灵敏度。

**关键词:** 四边形阻抗特征值; 可靠系数变异; 灵敏度双值

## Quadrilateral Impedance Eigenvalue Analysis and Application

*You Tianzhu*

(Jilin Electric Power Co., Liaoyuan Supply Company, Liaoyuan, Jilin 136200)

**Abstract** In order to make the relay setting calculation precision, avoid “setting calculation error”, the author using two-dimensional coordinates of the quadrilateral vector elements characteristic impedance characteristic value are analyzed. Through the analysis of " relevance vector impedance " and quadrilateral characteristic diagram of relations, reveals the “modular” algorithm to get the results, cover the quadrilateral characteristic impedance protection secret mechanism for measuring distortion of the actual grid impedance. This mechanism will cause the original resistance component reliability coefficient variation, impedance sensitivity calibration value false results. Through mathematical analysis and logical judgement, is derived for quadrilateral impedance value for a calculated item setting calculation and verification, to reflect the reliability coefficient variation and sensitivity results from decomposition of screen out false sensitivity.

**Key words:** characteristics quadrangle impedance values; the reliability coefficient variation; the sensitivity of the double value

距离保护的阻抗元件动作特性与保护装置设计原理有关,不同原理特性的阻抗元件需要采用相应的整定计算方法。矢量“模数”概念在常规整定计算中形成了惯性,如果不能建立“向量”思维,多边形特性的距离保护计算过程的“误整定”几率将会增大,这是因为它特征值会影响整定计算结果,需要引起整定计算人员的注意。

### 1 四边形特性阻抗特征值构成

微机距离保护阻抗有圆特性和多边形特性等形式。多边形特性阻抗保护具有基本特征和扩展特征, 扩展特征(第Ⅱ象限偏角、第Ⅳ象限偏角、原点矩

形等)属于装置性能本身的内容,与整定计算无关,因此本文仅分析基本特征:电阻整定线倾角、电抗整定线倾角(如图1所示)。

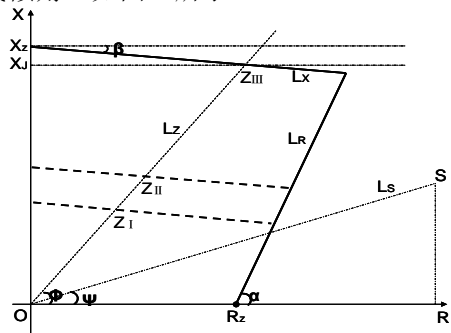


图 1 距离保护四边形阻抗特性图

阻抗特性图由电阻  $R$ —电抗  $X$  二维坐标轴、电阻整定线  $L_R$  和电抗整定线  $L_X$  围成四边形, 其中: 电阻特征值体现为  $L_R$  线的倾角  $\alpha$ ; 电抗特征值体现为  $L_X$  线的倾角  $\beta$ 。对应  $L_R$  的倾角为  $\alpha=60^\circ$ ; 对应  $L_X$  线的斜率为  $\tan\beta=-1/8$ , 即  $\beta=7^\circ$ 。这两个特征值在整定计算和校验时须以重用。

## 2 四边形特性阻抗特征值应用

### 2.1 电阻分量 $R_z$ 值整定及可靠系数 $K_k$ 选取

$R_Z$  分量是躲最大负荷的, 整定时不必过于关心实际运行的最大负荷  $S_m$ , 一般情况仅考虑理论上极限负荷即可。简言之, 可以电流互感器额定值确定最大负荷, 这是因为, 假如实际负荷超电流互感器额定电流时, 须更换较大变比的互感器。 $R_Z$  的计算式为:  $R_Z = U_{\min} / (K_k \times I_{\max})$ , 其中:

$U_{\min}$  为母线最小运行电压，可取为 90% 的额定电压； $K_k$  为可靠系数，可取为 1.8~2； $I_{\max}$  为最大负荷电流，可取为过载 50% 的极限值。因该项可直接算成二次有名值，对于 CT 二次额定电流为 5A 的保护，可直接设定为

$$R_Z = 0.9 U_e / (1.8 \sim 2) 1.5 I_e = 0.9 \times 100 / ((1.8 \sim 2) 1.5 \times 5) = 12 / (1.8 \sim 2) = 6.7 \sim 6 \Omega。$$

灵敏度足够情况下,建议二次值取为  $6\Omega$ ,以保证任何情况下装置都不会误动作,即  $K_k$  值取 2。亦即,最大极限负荷阻抗为  $Z_m=K_k \times R_Z=2 \times 6=12\Omega$ 。对于 CT 二次额定电流为 1A 的保护,则  $R_Z$  可取为  $30\Omega$ 。若灵敏度低,且实际最大负荷又远小于极限负荷,则可适当调大  $R_Z$ 。

## 2.2 电阻分量可靠系数真值返校

电阻分量可靠系数  $K_k$  是以负荷阻抗角按  $0^\circ$  计算的原设矢量模值 (如图 2 所示)。

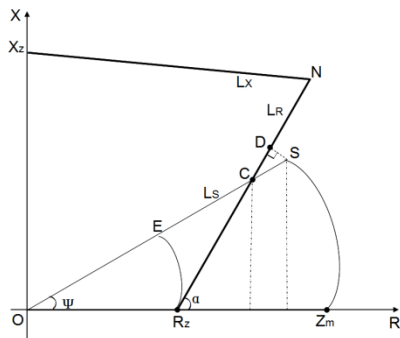


图 2 四边形阻抗 RZ 分量整定校验图

当  $K_k$  取 2 时, 最大极限负荷阻抗  $Z_m = K_k R_Z = 2R_Z$ , 可靠系数裕量  $K_\delta = (Z_m - R_Z) / R_Z = 1$ 。

实际负荷阻抗角  $\psi$  并非为  $0^\circ$ , 其最大值可按  $30^\circ$

(经验值)分析。用  $L_S$  线表示最大负荷临界线, 在  $L_S$  线与  $L_R$  线的共同作用下, 可靠系数便产生了“变异”, 结果使得实际裕量小于 1。

用  $Z_m$  在  $L_S$  线上的映射等效点  $S$  到  $L_R$  的垂距  $DS$  表示可靠系数裕量真值, 其大小可通过下列方法求取:

第一步：建立 LR 和 LS 两线的函数式，并联立求解，求得交点  $C(R, X)$  坐标值。

$$\left\{ \begin{array}{l} L_R: X = \tan(\alpha)R - R_z \tan(\alpha) \\ L_S: X = \tan(\psi)R \end{array} \right\}$$

联立

$$\left\{ \begin{array}{l} L_R: X = \tan(60^\circ)R - R_z \tan(60^\circ) \\ L_S: X = \tan(30^\circ)R \end{array} \right\}$$

代数求解得 C 点坐标:

### 第二步：求解 $OC$ 和 $CS$ 模值大小

$$OC = R / \cos(\psi) = 1.5R_z / \cos(30^\circ) = \sqrt{3} R_z$$

$$CS = OS - OC = 2R_7 - \sqrt{3}R_7 = (2 - \sqrt{3})R_7$$

第三步：通过相似比算出  $DS$  模值

$$DS/X=CS/OC \text{ (相似三角形)}$$

$$DS = X * CS / OC = 0.5\sqrt{3} R_7 \times (2 - \sqrt{3}) R_7$$

舍入得

$$DS=0.134R_7$$

于是,所求可靠系数裕量真值为 $K_8=DS/R_7=0.134$ 。

还可通过点  $S$  到  $L_R$  线的距离求解更简单(此略)。

由此可知, 变异后的实际可靠系数为真值为 1.134, 与计算时所选定的 2 发生较大变异。因此, 从这个意义上讲,  $R_z$  宜小不宜大。

### 2.3 电抗分量的整定

按整定原则计算的 I~III 段电抗分量  $X_{I\sim III}$  不能直接设定, 原因是  $L_X$  线倾角  $\beta$  使得整定值  $X_Z$  要大于计算值  $X_J$ , 需予补偿, 补偿度根据  $\beta$  和线路阻抗角  $\phi$  换算。四边形阻抗  $X_Z$  分量及灵敏度双值图如图 3 所示。

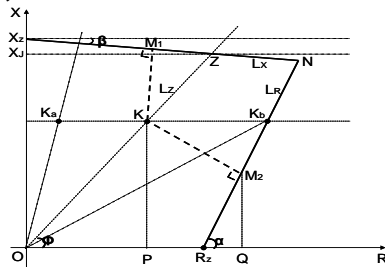
图 3 四边形阻抗  $X_Z$  分量及灵敏度双值图

图3中 $L_X$ 线上Z点对应的X坐标为计算值 $X_J$ , 而装置整定值则为 $X_Z$ , 补偿值为 $X_Z - X_J$ 。

$L_x$  线之倾角  $\beta$  所对应的斜率绝对值为  $1/8$ ;  $\Phi$

为线路阻抗角。于是，借助三角形 $\triangle ZX_jX_Z$ 可列出算式：

补偿值

$$\triangle X = X_Z - Z_j = ZX_j \tan(\beta) = ZX_j / 8 = X_j / \tan(\Phi) / 8 = X_j / 8 \tan(\Phi)$$

即，装置的实际整定值为  $X_Z = X_j(1 + 1/8 \tan(\Phi))$ 。

## 2.4 电抗分量灵敏度双值筛选

图3所示的 $K$ 点是阻抗灵敏度校验点，常规校验方法是以 $OZ/OK$ 为算式，认为灵敏度裕量值是 $OZ-OK$ ，其结果具有欺骗性。实际上，灵敏度具有“双值”，可用校验点 $K$ 到两个边的垂距来表示两个灵敏度分量的裕量。由于 $L_X$ 和 $L_R$ 两线的数学表达式不同，不能在同一数学表达式中求解，需要分别求算。然后比较两个值的大小，筛选出数值小的来反映实际灵敏度。分析如下：

不同的线路阻抗角 $\Phi$ 所产生的灵敏度“变异”程度不同。点 $K$ 在水平线上的移动范围，可用左右临界点 $K_a$ 和 $K_b$ 表示。配网导线的阻抗角一般在 $30^\circ \sim 80^\circ$ 之间。导线线径越大，线路阻抗角 $\Phi$ 越大， $K_a$ 越靠近 $X$ 轴；相反，导线线径越小，线路阻抗角 $\Phi$ 越小， $K_b$ 越靠近 $R$ 轴。不难看出：阻抗角越小，表象灵敏度与实际灵敏度差值越大。且当线路阻抗角 $\Phi$ 较小时， $K$ 点可能越出四边形外，此时保护将“拒动”。因此，右临界点 $K_b$ 作为 $R$ 分量灵敏度的零值点予以监视。倘若灵敏度校验点 $K$ 逼近 $K_b$ 甚至越出四边形外，需要采取相应措施以保证保护装置动作为（如：抬高 $R_Z$ 值、提出报告、进行技改等）。

自 $K$ 点分别向两边做垂线，得到垂点 $M_1$ 和 $M_2$ 。用 $KM_1$ 表示 $X$ 分量的裕量，用 $KM_2$ 表示 $R$ 分量的裕量，通过建立数学式分别求解。

$X$ 分量的灵敏度裕量可通过下列方法求得：

整定计算时的阻抗综合系数值  $K_Z = OZ/OK$ ，阻抗 $Z$ 的裕量为  $KZ = OZ - OK$ ，阻抗 $Z$ 的裕量比为  $KZ/OK$ 。

电抗 $X$ 分量的裕量为

$$KM_1 = K_Z \times \sin(\Phi + \beta) = X_K / \sin(\Phi) \times (K_Z - 1) \sin(\Phi + \beta)$$

则裕量比  $KM_1/OK$ ，即为 $X$ 分量的灵敏度裕量  $\delta_X$ ：

$$\delta_X = (K_Z - 1) \sin(\Phi + \beta)。$$

分析： $\Phi$ 角越小， $\delta_X$ 值也越小，“变异”效果就越明显。与 $\Phi(30^\circ \sim 80^\circ)$ 对应的 $\sin(\Phi + \beta)$ 值的范围是：0.6~0.9986。亦即，变异后 $X$ 分量灵敏度裕量是原裕量的0.6~0.9986倍。

例如：整定计算时取用的综合灵敏度系数为  $K_Z = 1.5 = 1 + 0.5$ ，那么，实际的灵敏度变异为  $K_X = 1 + 0.5 \times (0.6 \sim 0.9986) = 1.3 \sim 1.4993$ 。

$R$ 分量的灵敏度裕量可通过下列方法求得：

利用点 $K(R_K, X_K)$ 到 $L_R$ 线的距离公式，导出用 $X_K$ 表示的 $R$ 分量的裕量，求导过程如下：

$$\text{点、线式: } \begin{cases} L_R: \tan(\alpha)R - X - \tan(\alpha)R_Z = 0 \\ K(R_K, X_K); R_K = X_K / \tan(\phi) \end{cases}$$

得点线距式如下：

$$KM_2 = \frac{|(\tan(\alpha) / \tan(\phi) - 1) \times X_K - \tan(\alpha)R_Z|}{\sqrt{1^2 \tan^2(\alpha) + 1^2}}$$

代入 $\alpha = 60^\circ$ ，整理得

$$KM_2 = \sqrt{3}/2 \left| (1/\tan(\phi) - \sqrt{3}/3)X_K - R_Z \right|$$

即为 $R$ 分量的裕量。

裕量比  $KM_2/OK$ ，即为 $R$ 分量灵敏度裕量  $\delta_R$ 。

（其中  $OK = XK/\sin(\Phi)$ ）

$$\delta_R = KM_2 \times \sin(\Phi) / X_K =$$

$$\sqrt{3}/2 \left| R_Z / X_K - 1/\tan(\Phi) + \sqrt{3}/3 \right| \times \sin(\Phi)$$

分析： $K$ 点位置与线路阻抗角 $\Phi$ 有关， $\Phi$ 角越大灵敏度裕量也越大，最大线路阻抗角（ $80^\circ$ ）下对应的灵敏度裕量为： $0.342 + 0.852 \times R_Z/X_K$ ，此时对应于 $K_a$ 点；相反， $\Phi$ 角越小灵敏度裕量也越小，当 $L_Z$ 与 $L_R$ 相交时，对应于交点 $K_b$ 的灵敏度裕量变为0，该交点定义为 $R$ 分量灵敏度的“零值”点。零值点坐标的电阻值 $R_0$ 和阻抗角 $\Phi_0$ 算式为

$R_0 = R_Z + X_K/\tan(\alpha)$  其中： $X_K/\tan(\alpha)$ 是 $R_Z K_b$ 在 $R$ 轴上的投影； $R_Z$ 是电阻分量整定值。

$$\Phi_0 = \arctan(X_K/R_0) = \arctan(\tan(\alpha)/(1 + \tan(\alpha)R_Z/X_K))。$$

代入 $R_Z = 6$ ， $\alpha = 60^\circ$ 值，则

$$R_0 = 6 + X_K \sqrt{3}; \Phi_0 = \tan^{-1}(\sqrt{3}/(1 + 6\sqrt{3}/X_K))$$

当 $R_K \geq R_0$ 或 $\Phi \leq \Phi_0$ 时， $R$ 分量无灵敏度（进入保护死区）。

从以上求得的电抗分量裕量和电阻分量裕量中筛选出小的用来反映实际保护裕量， $\min(KM_1, KM_2)$ 。将其与整定计算时的综合裕量比较，若相差较大，不能保证装置可靠动作时，应采取措施（如：重新选取灵敏度系数整定和校验等）。

## 3 结论

四边形特性阻抗整定计算不能直接将计算值作为装置的整定值；电阻分量整定时的可靠系数不能认为就是实际的可靠系数；保护灵敏度校验方法不能用“模数”算法，需计算双值，选取小者为实际灵敏度。线路阻抗角偏小时，返伪归真效果将更为明显，尤其对阻抗角偏小的配网线路，纠正“模数”算法导致的错误的意义更大。因此，建议在实际整定计算时借鉴或采纳本文提出的算法，还原四边形特性距离保护阻抗元件

的本来性能，把住电网安全运行的整定计算关。

本文阐述的观点和方法表面上较麻烦，其实利用保护定值校验工具（如 Excel 电子表格编辑的工具）编辑为固定算式后则变得非常简单。

#### 参考文献

- [1] 崔价佩,孟庆炎,陈永芳,等.电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M].北京:中国电力出版社,1993.
- [2] 赵志宏,魏会利,田衡,等. CSL-160C 系列数字式线路保护装置说明书[Z]. 四方继保自动化有限公司,2003.11.
- [3] 穆大庆.继电保护原理与整定计算.电力系统继电保护与整定计算培训班培训教材[Z]. 北京国网动经技术培训中心.

#### 作者简介

尤田柱（1960-），男，工程师，大专学历，研究方向为电力工程及自动化。