

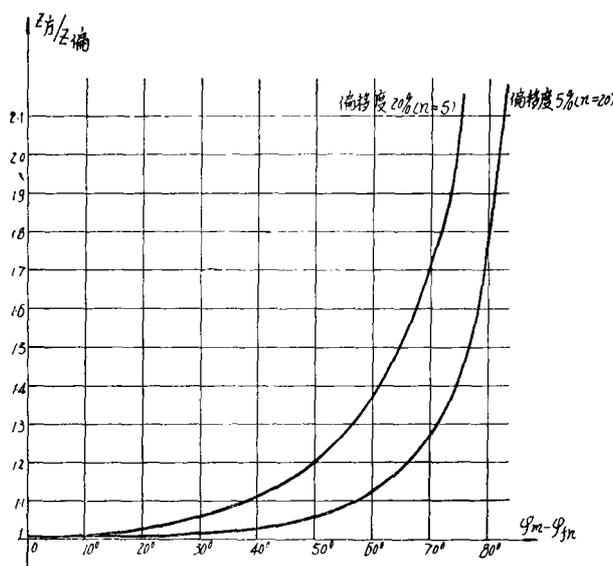
# 带偏移特性的方向阻抗继电器躲负荷阻抗 计算方法的探讨

河南省电业局电力调度所继电组 张子亮

国内几种距离保护屏中，第Ⅲ段的阻抗元件采用了带偏移特性的方向阻抗继电器，一般情况下它的整定计算应考虑躲过负荷阻抗，但目前由于对带偏移特性的方向阻抗元件，躲负荷阻抗的计算还没有按照其特点导出的计算公式，因此有些单位则采用了做图法进行整定，这样做较为复杂，也有些单位则简单的借用方向阻抗继电器躲负荷阻抗的计算公式。这样做简便但能否保证计算的准确呢？这是值得讨论的，为此本文对这个问题进行了初步探讨，并导出了按偏移特性考虑的整定公式及计算曲线但由于水平所限，结论难免有不当之处还望指正。

## 一、计算结果的比较：

为了说明问题我们光把用方向阻抗继电器计算公式算出的结果与用新导出的按偏移特性考虑的计算公式计算的结果加以比较（数据列于表一绘于曲线一）。



曲线一

表中数据： $Z_{方}$ ——表示用方向阻抗继电器计算方法计算的结果。

$Z_{偏}$ ——表示用偏移阻抗继电器计算方法计算的结果

$\varphi_m - \varphi_{fh}$ ——为继电器灵敏角与负荷阻抗角之差。

另外计算  $Z_{方}$  与  $Z_{偏}$  时假定负荷阻抗  $Z_{fh} = 1$

并不计可靠系数及返回系数。如

$$Z_{方} = \frac{Z_{fh}}{\cos \varphi (\varphi_m - \varphi_{fh})} = \frac{1}{\cos (\varphi_m - \varphi_{fh})}$$

$n$ ——偏移度的倒数

计算结果表明，在躲同样负荷阻抗时，当偏移度较大，灵敏角与负荷阻抗角之差较大则两者相差较大， $Z_{方}$  大于  $Z_{偏}$ ，这就意味着在此情况用方向阻抗继电器的计算方法可能躲不过负荷阻抗，因此遇此情况简单地移用方向阻抗继电器的整定公式计算得的结果将是不准的而应采用按其特点导出的计算公式进行计算。

## 二、带偏移特性阻抗元件躲负荷阻抗计算公式的推导：

(一) 根据距离元件通入表达式求取偏移特性阻抗园中的  $Z'$ 、 $Z$ 。

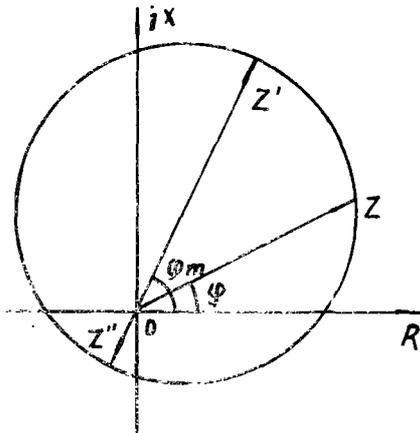


图 一

1. 已知  $Z$  及偏移度  $\frac{Z''}{Z'}$  (令  $\frac{Z''}{Z'} = \frac{1}{n}$ ) 求  $Z'$  距离元件的通用表达式：

$$Z^2 - Z' Z'' - Z (Z' - Z'') \cos (\varphi_m - \varphi) = 0 \quad (1)$$

将  $\frac{Z'}{Z''} = n$  代入式 (1)

$$\text{得：} \quad Z^2 - Z'^2 \cdot \frac{1}{n} - Z \frac{(n-1)}{n} Z' \cos (\varphi_m - \varphi) = 0$$

$$\text{化简得：} \quad Z'^2 + Z (n-1) \cos (\varphi_m - \varphi) Z' - n Z^2 = 0 \quad (2)$$

解方程—(2)得  $Z'$

$$Z' = Z \times \frac{-(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi) + \sqrt{[(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi)]^2 + 4n}}{2} \quad (3)$$

2. 已知  $Z'$  及  $n$  求  $Z$

解方程—(2)得  $Z$

$$Z = Z' \times \frac{(1 - \frac{1}{n})\cos(\varphi_m - \varphi) + \sqrt{[(1 - \frac{1}{n})\cos(\varphi_m - \varphi)]^2 + 4\frac{1}{n}}}{2} \quad (4)$$

或

$$Z = Z' \times \frac{2}{-(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi) + \sqrt{[(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi)]^2 + 4n}} \quad (5)$$

(二) 整定计算用公式: 根据一般整定计算的要求, 继电器的灵敏角应取等于或近似等于线路阻抗角即  $\varphi_m = \varphi_x$ , 保护的整定阻抗通常位于阻抗继电器动作圆的最大灵敏角下即我们所需计算的整定阻抗向量应与  $Z'$  向量重合, 又如果负荷阻抗  $Z_{fh}$  与上边推导中用的  $Z$  向量相重合则表明  $\varphi_{fh} = \varphi$ , 当负荷阻抗  $Z_{fh}$  除以可靠系数  $K_K$  返回系数  $K_h$  后等于  $Z$  时  $\frac{Z_{fh}}{K_K \cdot K_h} = Z$ , 保护的整定阻抗  $Z_{zd.bh}$  应等于  $Z'$  这样式(3)便可改写成下式

$$Z_{zd.bh} = \frac{Z_{fh}}{K_K \cdot K_h} \cdot \frac{-(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi_{fh}) + \sqrt{[(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi_{fh})]^2 + 4n}}{2} \quad (6)$$

如果令  $\frac{-(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi_{fh}) + \sqrt{[(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi_{fh})]^2 + 4n}}{2} = k_h$

$k_h$  —— 称换算系数, 即将

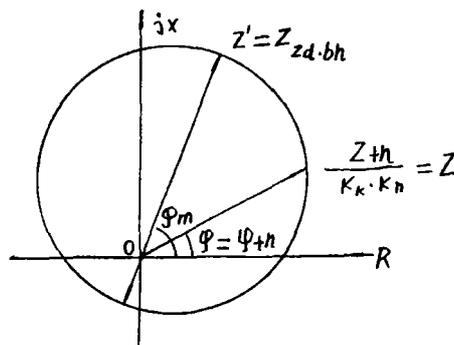
$\frac{Z_{fh}}{K_K \cdot K_h}$  由负荷角下  $Z' = Z_{zd.bh}$  换算到灵敏角下时阻抗位应放大的倍数。

将  $k_h$  代入式(6)

$$\text{则 } Z_{zd.bh} = \frac{Z_{fh}}{K_K \cdot K_h} \cdot k_h \quad (7)$$

由上可见  $k_h$  对实用来说较为复杂, 应设法简便才有使用价为此下面就讨论一下  $k_h$  的简便求法

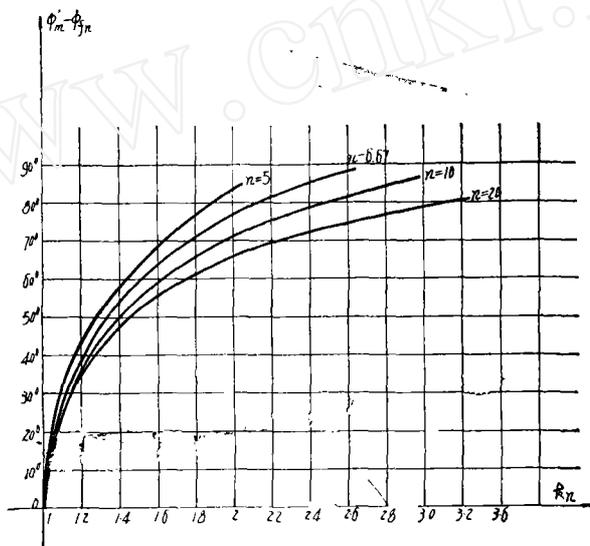
(三) 换算系数的简便求法: 由(6)式可见,  $k_h$  是随偏移度大小(即  $n$ ) 的变化及  $\varphi_m - \varphi_{fh}$  位的变化而变化的, 这样计算起来较为复杂, 为了简便起见, 我们可以采



图二

用查曲线或查表的办法, 只要知道  $n$  及  $\varphi_m - \varphi_{fh}$ ,  $k_h$  位便随手可得。

曲线是根据式 (6) 固定  $n$  使  $\varphi_m - \varphi_{fh}$  由  $-90^\circ$  到  $+90^\circ$  变化而得, 当  $n$  分别采用一组数据时 (如  $n = 20, 10, 6.67, 5 \dots$ ) 便可得一组曲线。下面将偏移度分别为 20% 15% 10% 5% 的一组  $k_h$  绘于曲线二。



曲线二

#### (四) 几种情况下的阻抗计算:

1. 已知:  $n$  及  $Z_{zd、bh}$  求动作园上任意一点阻抗位  $Z_{dz、rY}$ 。

将  $Z_{zd、bh}$ ,  $Z_{dz、rY}$ ,  $\varphi_{rY}$  替代式 (4) 或 (5) 中的  $Z'$ ,  $Z$ ,  $\varphi$  得

$$Z_{dz、rY} = Z_{zd、bh} \times \frac{2}{-(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi_{rY}) + \sqrt{[(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi_{rY})]^2 + 4n}}$$

$$= Z_{zd、bh} \times \frac{1}{k_h}$$

式中  $k_h$  通过查表求得。

2. 线路阻抗角与继电器灵敏角不等时:

1) 已知按最大灵敏角下求的整定阻抗  $Z_{zd、bh}$  换算为线路阻抗角下的  $Z_{dz、z}$  阻抗可用求动作园上任一点阻抗的方法。

2) 已知线路阻抗角下的动作阻抗求灵敏角下的动作阻抗用式 (3) 求得。

3.  $30^\circ$  接线的阻抗继电器求取  $Z_{zd、bh}$ : 在不计接线系数时

$$Z_{zd、bh} = \frac{Z_{fh}}{K_K K_h} k_h$$

$$\text{其中 } k_h = \frac{-(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi_{fh}) + \sqrt{[(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi_{fh})]^2 + 4n}}{2}$$

式中:  $\varphi_m - \varphi_{fh}$  应改为  $\varphi_m - (\varphi_{fh} + 30^\circ)$

查表时应按  $\varphi_m - (\varphi_{fh} + 30^\circ)$  进行。

(五) 算例: 220KV 线路输送负荷  $W_{fh} = 250 \angle 26^\circ MVA$  线路阻抗角  $\varphi_x = 74.5^\circ$  继电器为  $0^\circ$  结线偏移 20%, 继电器灵敏角取  $70^\circ$  求按躲负荷阻抗的整定值, 以及线路阻抗角下的动作阻抗。

$$1. \text{ 求整定阻抗 } Z_{fh} = \frac{U_{m \cdot n}^2}{W_{fh}} = \frac{(0.9 \cdot 220)^2}{250} \approx 157 \text{ 欧}$$

$$Z_{zd, fh} = \frac{Z_{fh}}{K_K \cdot K_h} \cdot k_h \quad \text{式中 } k_h \text{ 查表 } n = 5$$

$$= \frac{157}{1.25 \cdot 1.15} \cdot 1.219 \quad \varphi_m - \varphi_{fh} = 44^\circ \quad k_h = 1.219$$

$$\approx 133 \text{ 欧}$$

如果采用方向阻抗的计算公式

$$Z_{zd, fh} = \frac{157}{1.25 \cdot 1.15} \cdot \frac{1}{\cos 44^\circ}$$

$$= \frac{157}{1.25 \cdot 1.15} \cdot \frac{1}{0.7193}$$

$$\approx 152 \text{ 欧}$$

显见两值相差较大。

2. 求  $Z_{dz, x}$  线路阻抗角下的动作阻抗

$$Z_{dz, x} = Z_{zd, bh} \cdot \frac{1}{k_h} \quad k_h \text{ 查表 } n = 5 \quad \varphi_m - \varphi = 4.5^\circ$$

$$= 133 \cdot \frac{1}{1.003} \quad k_h = 1.003$$

$$\approx 133$$

### 三、带偏移特性的方向阻抗元件、允许输送负荷的计算及其曲线的绘制

(一) 允许输送负荷的计算: 当  $Z_{zd, fh}$  计算完按要求还应给出允许负荷或允许负荷曲线。根据式(7)可以导出允许输送负荷的计算公式:

$$Z_{zd, bh} = \frac{Z_{fh}}{K_K \cdot K_h} \cdot k_h$$

$$Z_{zd, bh} = \frac{(0.9U_c)^2}{K_K \cdot K_h \cdot W_{fh}} \cdot k_h$$

$$\text{则 } W_{fh} \leq \frac{(0.9U_c)^2}{K_K \cdot K_h Z_{zd, bh}} \cdot k_h$$

$$\leq \frac{(0.9U_e)^2}{K_K \cdot K_h \cdot Z_{zd, bh}} \cdot \frac{-(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi_{th}) + \sqrt{[(n-1)\cos(\varphi_m - \varphi_{th})]^2}}{2} \quad (8)$$

由式(8)可见式中只有 $\varphi_{th}$ 为变数, 所以欲求某一 $\varphi_{th}$ 下的允许负荷, 只需查一下 $K_h$ 即可算得然而要绘出其允许的负荷曲线用此办法显得麻烦些, 所以用式(8)计算某一 $\varphi_{th}$ 角下的允许负荷较为便利。当然也可以用求出三点做曲线(园)的方法, 求得负荷允许曲线。

(二) 允许负荷曲线的制作: 从数学推导知道偏移特性的方向阻抗园及演后, 其导纳 $Y$ 还是一个园, 其园心向量为:

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{oo}' &= \frac{1}{2} \frac{\dot{Z}' + \dot{Z}''}{\dot{Z}' \cdot \dot{Z}''} \\ &= \frac{1}{2} \frac{n-1}{Z'} \angle 180^\circ - \varphi_m \\ \text{半径为 } Y_r &= \frac{1}{2} \frac{Z' + Z''}{Z' \cdot Z''} \\ &= \frac{1}{2} \frac{(n+1)}{Z'} \end{aligned}$$

欲求允许功率园, 只需将 $Y$ 园的园心向量及半径均乘以 $\frac{(0.9V_e)^2}{K_K \cdot K_h}$ 即得允许负荷园的半径园心。

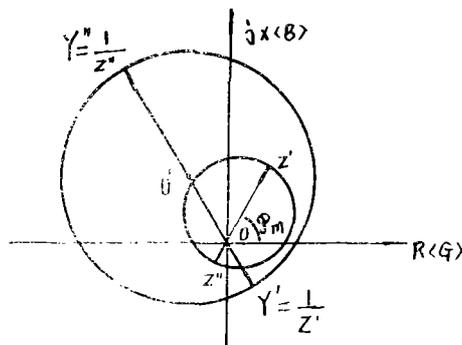


图 三

$$\text{园心: } \dot{W}_{oo}' = \frac{(0.9u_e)^2}{K_K \cdot K_h} \cdot \frac{(n-1)}{2Z'} \angle 180^\circ - \varphi_m \quad (9)$$

$$\text{半径 } W_r = \frac{0.9u_e^2}{K_K \cdot K_h} \cdot \frac{(n+1)}{2Z'} \quad (10)$$

式中 $u_e$ 为额定线电压。

$Z'$ 为整定阻抗 $Z_{zd, bh}$ 。

一般情况下允许功率园只需绘出第四象限的圆弧做为允许负荷曲线。