

偏移特性阻抗元件的定值计算问题

黑龙江省西部电力网调度局 姚长华

近年来, 线路整流型距离保护在电网中已广泛应用, 其Ⅲ段阻抗元件一般均为偏移特性。因偏移阻抗元件向所保护的反方向偏移10~20%, 使其躲负荷电流计算动作阻抗的方法有别于方向阻抗元件。若沿装方向阻抗元件计算允许负荷电流(或功率曲线)的方法, 必然要产生很大的误差, 特别是在功率因数较高, 线路阻抗角较大的输电线路, 产生的偏差值更大, 有可能引起距离Ⅲ段过负荷误动跳闸。

本文针对上述问题, 分析了0°接线、-30°接线及+30°接线的偏移阻抗继电器, 躲负荷电流计算动作阻抗的原则和方法, 并导出相应的计算公式。在距离Ⅲ段动作阻抗已确定的情况下, 又对计算保护允许负荷电流和利用阻抗—导纳圆的反演关系, 求作保护允许功率圆的方法作了讨论和说明。文中附有计算实例, 以便为整定距离保护定值时提供参考。

由于水平所限, 文中疏误之处定当不少, 望阅者提出批评指正。

一、基本公式

(一) 阻抗向量 \dot{Z}_Y 与 \dot{Z}_X 的关系

设偏移特性阻抗元件在灵敏角中 ϕ_Y 下的动作阻抗为 Z_Y , 在任意角度 ϕ_X 下的动作阻抗为 Z_X , 如图一所示。

$$\text{阻抗元件偏移度: } K = \frac{|Z'_Y|}{|Z_Y| + |Z'_Y|}$$

由此得出反向偏移阻抗为:

$$Z'_Y = \frac{K |Z_Y|}{1 - K}$$

在图一中, 作直线 $O'M$, 使 $O'M \perp ON$ 。

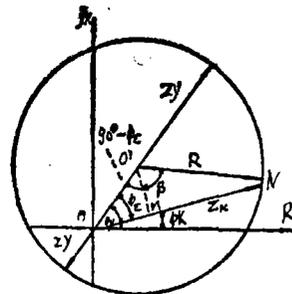
设: $\angle O'ON = \phi_X = \phi_Y - \phi_K$

$$\begin{aligned} \angle LNO'M &= \beta \\ \angle LMO'O &= 90^\circ - \phi_X \\ &= 90^\circ - \phi_Y + \phi_K \end{aligned}$$

由正弦定理, 在三角形 $OO'N$ 中有:

$$\frac{Z_X}{(\sin(90^\circ - \phi_X + \beta))} = \frac{R}{\sin \phi_X}$$

$$\text{即: } Z_X = R \frac{\sin(90^\circ - \phi_X + \beta)}{\sin \phi_X} = R \frac{\cos(\beta - \phi_X)}{\sin \phi_X}$$



图一 偏移特性阻抗元件特性图

$$\text{圆半径 } R = \frac{|Z_Y| + |Z'_Y|}{2} = \frac{|Z_Y| + \frac{K|Z_Y|}{1-K}}{2} = \frac{|Z_Y|}{2(1-K)}$$

Lβ 求导如下:

$$\overline{OO'} = \frac{|Z_Y| - |Z'_Y|}{2} = \frac{|Z_Y| - \frac{K|Z_Y|}{1-K}}{2} = \frac{(1-2K)|Z_Y|}{2(1-K)} = (1-2K)R$$

$$\overline{O'M} = \overline{O'O} \sin \phi_z = (1-2K)R \sin \phi_z$$

$$\cos \beta = \frac{\overline{O'M}}{R} = (1-2K) \sin \phi_z$$

$$\beta = \cos^{-1}[(1-2K) \sin(\phi_Y - \phi_X)] \quad \dots\dots\dots (1)$$

将圆半径 R 的表达式代入 Z_K 的计算式有:

$$Z_K = \frac{Z_Y \cos(\beta - \phi_Y + \phi_X)}{2(1-K) \sin(\phi_Y - \phi_X)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

当 K = 0.5 时

由 (1) 式: β = cos⁻¹ 0 = 90°

$$\begin{aligned} \text{代入 (2) 式: } Z_K &= \frac{Z_Y \cos(90^\circ - \phi_z)}{2(1-0.5) \sin \phi_z} \\ &= \frac{Z_Y (\cos 90^\circ \cos \phi_z + \sin 90^\circ \sin \phi_z)}{\sin \phi_z} = Z_Y \end{aligned}$$

相当于全圆特性阻抗元件。

当 K = 0 时

因为 $\overline{OO'} = R$, O'M 为 ∠OO'N 的平分线。所以: β = 90° - φ_z

$$\begin{aligned} \text{代入 (2) 式: } Z_K &= \frac{Z_Y \cos(90^\circ - 2\phi_z)}{2 \sin \phi_z} = \frac{Z_Y}{2} \cdot \frac{Z_Y \sin 2\phi_z}{\sin \phi_z} \\ &= Z_Y \cos(\phi_Y - \phi_X) \end{aligned}$$

相当于方向特性阻抗元件。

(二) $\dot{Y}_K = \frac{1}{\dot{Z}_K}$ 曲线的反演

只讨论圆周包括座标原点的偏移特性阻抗圆反演曲线。见图二。

在复数平面上阻抗向量 \dot{Z}_K 的轨迹为一个包括原点的圆,其圆心向量为 \dot{Z}_O , 半径为 R_z, 则其复数方程为:

$$|\dot{Z}_K - \dot{Z}_O| \leq R_z \quad \dots\dots\dots (3)$$

得 (3) 式两端平方得: $|\dot{Z}_K - \dot{Z}_O|^2 \leq R_z^2$

由两复数差的绝对值平方, 等于两复数差与两复数共轭值差的乘积, 可得:

$$(\dot{Z}_K - \dot{Z}_O)(\widehat{\dot{Z}_K - \dot{Z}_O}) \leq R_z^2$$

将 $\dot{Z}_K = \frac{1}{Y_K}$ 代入上式有:

$$\left(\frac{1}{\dot{Y}_K} - \dot{Z}_O \right) \left(\frac{1}{\hat{Y}} - \hat{Z}_O \right) \leq R^2_z$$

展开上式 $\frac{1}{\dot{Y}_K \hat{Y}} - \frac{\dot{Z}_O}{\hat{Y}} - \frac{\hat{Z}_O}{\dot{Y}_K} + \hat{Z}_O \dot{Z}_O \leq R^2_z$

即: $1 - \dot{Z}_O \hat{Y} - \hat{Z}_O \dot{Y}_K \leq (R^2_z - \dot{Z}_O \hat{Z}_O) \dot{Y}_K \hat{Y}$

化简整理:

$$\dot{Y}_K \hat{Y} - \dot{Y}_K - \frac{\dot{Z}_O}{\dot{Z}_O \hat{Y}_O - R^2_z} - \hat{Y}_K - \frac{\hat{Z}_O}{\dot{Z}_O \hat{Z}_O - R^2_z} + \frac{\dot{Z}_O \hat{Z}_O}{(\dot{Z}_O \hat{Z}_O - R^2_z)^2} \leq \frac{R^2_z}{(\dot{Z}_O \hat{Z}_O - R^2_z)^2}$$

得上式进行因式分解:

$$\left(\dot{Y}_K - \frac{\hat{Z}_O}{\dot{Z}_O \hat{Z}_O - R^2_z} \right) \left(\hat{Y} - \frac{\dot{Z}_O}{\dot{Z}_O \hat{Z}_O - R^2_z} \right) \geq \left(\frac{R_z}{\dot{Z}_O \hat{Z}_O - R^2_z} \right)^2$$

即: $\left| \dot{Y}_K - \frac{\hat{Z}_O}{\dot{Z}_O \hat{Z}_O - R^2_z} \right| \geq \frac{R_z}{|\dot{Z}_O \hat{Z}_O - R^2_z|}$ (4)

(4) 式为 \dot{Z}_z 反演后的导纳园复数方程。

导纳园园心向量: $\dot{Y}_O = \frac{|Z_O|}{|Z_O|^2 - R^2_z} e^{-j\phi_O}$ (5)

导纳园半径: $R_Y = \left| \frac{R_z}{|Z_O|^2 - R^2_z} \right|$ (6)

由图二可知, 阻抗园和导纳园的直径(或直径延长线)对称于实轴, 与实轴的夹角分别为 ϕ_O 和 ϕ_O 。导纳园园心座标为正值时, 园心 Y_O 在 $M_2 N_2$ 直线的 OM_2 (及其延长线) 上; 若园心座标为负值时, 园心 Y_O 在 ON_2 (及其延长线) 上。

$M_1 N_1$ 为阻抗园的直径, $M_2 N_2$ 为导纳园的直径, M_1 与 M_2 两点对应, 并互为倒数; N_1 与 N_2 两点对应并互为倒数。在偏移特性阻抗元件中 $R_z > Z_O$, 所以 \dot{Z}_K 园内区相当于 \dot{Y}_K 园外区, 即继电器所感受的阻抗在阻抗园内动作, 其所感受的阻抗的倒数在导纳园外动作。在阻抗园中, 当 $R_z = Z_O$ 时, 则导纳园的园心在 ON_2 延长线无限远处, 半径为无限大, 导纳园的园周为一一直线, 相当于方向阻抗元件。

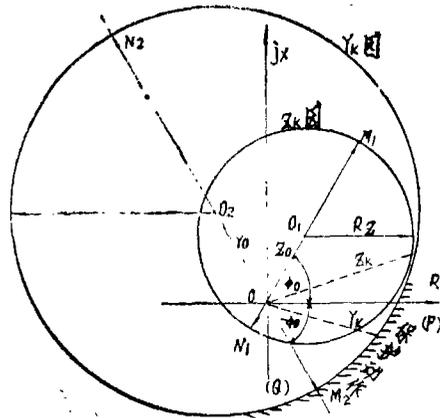
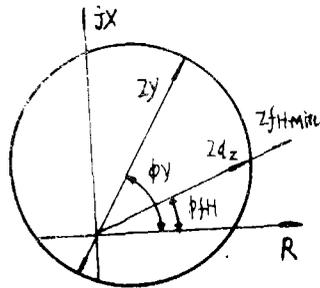


图2. 偏移特性阻抗圆族演图.

二、躲负荷电流计算阻抗元件定值

(一) 0° 接线阻抗元件 (适用于 $\frac{U_\Delta}{I_\Delta}$, $\frac{U_Y}{I_Y}$ 接线)

根据线路最大负荷电流计算偏移阻抗元件的定值, 应按躲过线路最小负荷阻抗 $Z_{IH \cdot Min}$ 来选择其动作阻抗。设 Z_{dz} 为负荷阻抗角 ϕ_{IH} 下的继电器动作阻抗 (以下同), 由图三可知:



图三 0° 接线阻抗元件特性

$$Z_{dz} = \frac{K_r U_\phi}{K_r K_f I_{IH \cdot min}} e^{j\phi_{IH}} = K_z Z_{IH \cdot min} e^{j\phi_{IH}} \dots\dots\dots (7)$$

其中: K_r : 可靠系数取1.2;

K_f : 返回系数取1.15~1.25;

K_z : 包括 $K_r K_f$ 的综合系数 $K_z = \frac{1}{K_r K_f}$ 一般可取0.7;

K_V : 运行电压偏低系数取0.9~0.95;

$I_{TH \cdot max}$: 线路最大负荷电流;

U_ϕ : 额定相电压。

阻抗元件在灵敏角 ϕ_Y 下的整定阻抗由 (1) 和 (2) 式求得, 用 Z_{dz} 取代 Z_K 有:

$$Z_Y = \frac{2 Z_{dz} (1 - K) \sin(\phi_Y - \phi_{TH})}{\cos(\beta - \phi_Y + \phi_{TH})} \dots\dots\dots (8)$$

其中 β 值由 (1) 式算出。

(二) -30° 接线阻抗元件 (适用于 $\frac{U_{AB}}{-2I_B}$, $\frac{U_{BC}}{-2I_C}$, $\frac{U_{CA}}{-2I_A}$ 接线)

在重负荷线路的送电端, 为提高阻抗元件的负荷性能, 采用 -30° 接线的偏移阻抗元件, 在负荷功率角较小时, 其效果是很显著的。

在正常负荷 (或三相短路) 时, -30° 接线的阻抗元件感受的负荷阻抗为:

$$Z_{TH} = \frac{U_{BB}}{-2I} = \frac{Z_{TH} (I_A - I_B)}{-2I_B} e^{j\phi_{TH}} = \frac{\sqrt{3}}{2} Z_{TH} e^{j(\phi_{TH} - 30^\circ)} \dots\dots\dots (9)$$

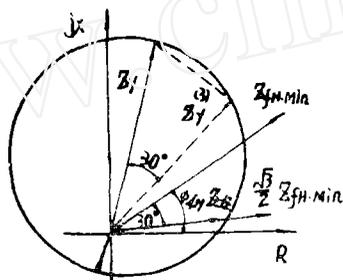


图4 -30° 接线阻抗元件特性

由图四可以看出, 继电器在 $(\phi_{TH} - 30^\circ)$ 角下的动作阻抗应为:

$$Z_{dz} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{K_Z K_V U_\phi}{I_{TH \cdot max}} = \frac{\sqrt{3}}{2} K_Z Z_{TH \cdot min} e^{j(\phi_{TH} - 30^\circ)} \dots\dots\dots (10)$$

阻抗元件在灵敏角 ϕ_Y 下的整定阻抗为:

$$Z_Y = \frac{2 Z_{dz} (1 - K) \sin(\phi_Y - \phi_{TH} + 30^\circ)}{\cos(\beta - \phi_Y + \phi_{TH} - 30^\circ)} \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{其中 } \beta = \cos^{-1}[(1 - 2K) \sin(\phi_Y - \phi_{TH} + 30^\circ)] \dots\dots\dots (12)$$

得 (11) 式与 (8) 式相比较可知, -30° 接线偏移阻抗元件定值计算时, 用 $\phi_{TH} - 30^\circ$ 取代 (8) 式中的 ϕ_{TH} 即可, 角 β 的计算与之类同。同样 $+30^\circ$ 接线偏移阻抗元件定值计算时, 只须用 $\phi_{TH} + 30^\circ$ 取代 (8) 式中的 ϕ_{TH} 即可。

应当说明, 由 (11) 式计算的整定阻抗 Z_Y , 是相应线路发生两相短路的继电器动作阻抗 (设 $\phi_Y = \phi_{x1}$), 三相短路的动作阻抗为图 4 中虚线 $Z_Y^{(3)}$, $Z_Y^{(3)}$ 的幅角 $\phi_Y^{(3)} = \phi_Y - 30^\circ$ 。

当 $K = 0.2$ 时: $\beta = \text{Cos}^{-1}[(1 - 2 \times 0.2)\text{Sin}30^\circ] = 72.5^\circ$

$$Z_Y^{(s)} = \frac{Z_Y \text{Cos}(72.5^\circ - 30^\circ)}{2(1 - 0.2)\text{Sin}30^\circ} = 0.922 Z_Y$$

由此可见,三相短路时, -30° 接线的偏移特性和方向特性阻抗继电器测量阻抗是不相等的,后者 $Z_Y^{(s)} = 0.866 Z_Y$ 。显而易见,在这种情况下,偏移阻抗元件的保护范围要略为伸长。

三、允许功率特性曲线的求作方法

偏移及方向阻抗继电器,允许负荷电流值随着负荷角度的改变而变化,所以由(2)式计算的某固定负荷角下的保护允许电流,应用起来是不方便的,为便于运行人员监视,使用第一节中介绍的阻抗——导纳圆反演曲线,在复数平面上作出阻抗元件允许功率特性曲线(或给出允许功率表),在实际应用中是比较科学和方便的。

(一) 保护动作功率的表达式

当以电压 U_ϕ (或 $U_\phi - \phi$) 为基准 0° 线, $\dot{I} = I e^{j\phi}$, 电压领先电流 ϕ 中为正值, 并取同相电压与电流间角度为零。

三相输送视在功率表达式为:

$$S = 3 U_\phi I_\phi \quad \dots\dots\dots (13)$$

继电器端子的感受阻抗:

$$\left. \begin{aligned} (1) 0^\circ \text{接线} \left(\frac{U_{AB}}{I_A - I_B}, \frac{U_A}{I_A} \right): \quad \dot{Z}_r &= \frac{U_\phi}{I_\phi} e^{j0^\circ}; \\ (2) -30^\circ \text{接线} \left(\frac{U_{AB}}{-2I_B} \right): \quad \dot{Z}_r &= \frac{\sqrt{3} U_\phi}{2 I_\phi} e^{-j30^\circ}; \\ (3) +30^\circ \text{接线} \left(\frac{U_{AB}}{2I_A} \right): \quad \dot{Z}_r &= \frac{\sqrt{3} U_\phi}{2 I_\phi} e^{j30^\circ}. \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (14)$$

将(14)式代入(13)式,则功率表达式变为:

$$\left. \begin{aligned} (1) 0^\circ \text{接线}: \dot{S} &= 3 U_\phi \frac{U_\phi}{\dot{Z}_r} = \frac{U_\phi^2}{\dot{Z}_r} e^{j0^\circ}; \\ (2) -30^\circ \text{接线}: \dot{S} &= 3 U_\phi \frac{\sqrt{3} U_\phi}{2 \dot{Z}_r} = \frac{\sqrt{3} U_\phi^2}{2 \dot{Z}_r} e^{-j30^\circ}. \\ (3) +30^\circ \text{接线}: \dot{S} &= \frac{\sqrt{3} U_\phi^2}{2 \dot{Z}_r} e^{j30^\circ} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (15)$$

其中 $U_\phi - \phi$: 额定(或运行)线电压。

将 $\dot{Z}_r = \dot{Z}_Y = -\frac{I}{Y_Y}$ 代入(15)式,可得出以 \dot{Z}_Y 为直径的保护动作阻抗圆反演后的保护动作功率圆表达式:

$$\begin{aligned}
 (1) 0^\circ \text{ 接线: } \dot{S} &= \frac{U_{\phi-\phi}^2}{Z_Y} = \dot{Y}_Y U_{\phi-\phi}^2 e^{j0^\circ} \\
 (2) -30^\circ \text{ 接线: } \dot{S} &= \frac{\sqrt{3} U_{\phi-\phi}^2}{2 Z_Y} e^{-j30^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{2} \dot{Y}_Y U_{\phi-\phi}^2 e^{-j30^\circ} \\
 (3) +30^\circ \text{ 接线: } \dot{S} &= \frac{\sqrt{3} U_{\phi-\phi}^2}{2 Z_Y} e^{j30^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{2} \dot{Y}_Y U_{\phi-\phi}^2 e^{j30^\circ}
 \end{aligned} \quad (16)$$

(16) 式是求作阻抗元件动作功率园的基本关系式，园图可应用第一节所介绍的求取导纳园园心位置和半径作出，也可用 $\frac{1}{Z_Y} = \dot{Y}_Y$ ， $\frac{1}{Z_Y}$ 两对应点间的线段为直径作出功率园，后者应用起来比较简便。在保护动作功率园作出后，用系数 $K_Z K_Y$ 分别乘以对应点向量 \dot{Y}_Y 及 \dot{Y}_Y ，在以此新的两点间线段为直径作园，即可得出偏移阻抗元件允许的功率园。实用上只须作出保护允许功率园就可供应用了。

求作功率特性园，使用标么值法作图是比较方便的，此时可取计算电压的标么值 $U_{\phi-\phi x} = 1$ 。设某基础容量 S_0 （例如 100 MVA ）下，偏移阻抗继电器 $Z_{YX} = 0.5$ 、 $\phi_Y = 60^\circ$ 、 $Z'_{YX} = 0.125$ 、 $\phi'_Y = 240^\circ$ 、 $K = 0.2$ ，利用阻抗——导纳的反演关系作图如下。

(二) 0° 接线阻抗元件

$$\text{用标么值表示 (16) 式之 (1): } \dot{S} = -\frac{1}{Z_Y} e^{j0^\circ} = \dot{Y}_Y e^{j0^\circ}$$

$$\text{阻抗园园心向量: } \dot{Z}_0 = \frac{0.5 - 0.125}{2} = 0.1875 \angle 60^\circ$$

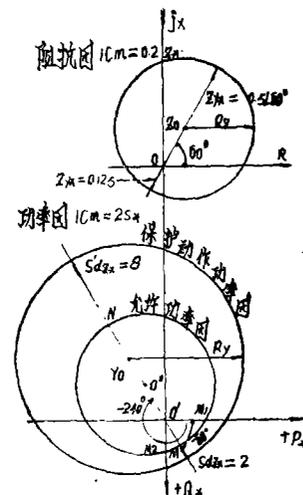
$$\text{阻抗园半径: } \left| \dot{R}_Z \right| = \frac{0.5 + 0.125}{2} = 0.3125$$

由 (5)、(6) 两式求出导纳园的园心向量及半径:

$$\dot{Y}_0 = \frac{0.1875}{0.1875^2 - 0.3125^2} e^{-j\phi_0} = -3 \angle -60^\circ$$

$$R_Y = \frac{0.3125}{0.1875^2 - 0.3125^2} = 5$$

由 \dot{Y}_0 、 R_Y 所作出的保护动作功率园如图五所示。将图中 S_{dZX} 及 S'_{dZX} 分别乘以 $K_Z K_Y = 0.7 \times 0.9 = 0.63$ ，可在园的直径上求出 M 、 N 两点，再以 MN 为直径作园 O'' ，则园 O'' 即为阻抗元件允许的功率园。园 O'' 的第三象限部分，相当于由保护安装处母线向线路送出功率（实轴送有功、虚轴送无功）的情况，在 $\phi_Y = \phi_{TH} = 60^\circ$ 时保护允许送出功率为 $O'M = 0.63 \times 2 \times 100 = 126 \text{ MVA}$ 。园 O'' 的第二象限部分



图五 0° 接线阻抗元件功率特性园

$$S_{N_2 X} = 0.63 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{e^{j30^\circ}}{0.125 e^{j(60^\circ + 180^\circ)}} = 4.365 e^{-j210^\circ}$$

以 $M_2 N_2$ 为直径作圆，即为阻抗元件允许功率圆。见图七，为便于比较，图中仍绘出了保护动作功率圆，阻抗圆与图五相同，图七中路去。

四、计算举例

(一) 算例一、220^{KV} 线路，最大负荷电流 $I_{TH \cdot max} = 1000 A$ ；线路阻抗角 $\phi \times \alpha = 70^\circ$ ；阻抗元件偏移度 $K = 0.15$ ；负荷功率角 $\phi_{TH} = 25^\circ$ ($\cos \phi = 0.9$)；运行在额定电压下 $U_{\phi-\phi} = 220^{KV}$ 。

求 0° 接线及 -30° 接线的偏移特性阻抗继电器，躲负荷电流的 III 段阻抗整定值，并作出其允许功率特性曲线。

$$\begin{aligned} \text{取基础容量 } S_b &= 100^{MV \cdot A}； \text{基准相阻抗 } Z_{\sigma \phi} = \frac{220^2}{100} 484 \Omega； \text{基准相电流 } I_{\sigma \phi} \\ &= \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220} = 262.4 A。 \end{aligned}$$

1. 0° 接线的阻抗元件

负荷阻抗角下的 Z_{ZZ} 由 (7) 式得：

$$Z_{ZZ} = \frac{0.7 \times 0.9 \times \frac{220}{\sqrt{3}}}{1000} = 80 (\Omega)$$

灵敏角下的阻抗元件一次整定阻抗值

由 (1) 式求出： $\beta = \cos^{-1}[(1 - 2 \times 0.15) \sin(70^\circ - 25^\circ)] = 60.33^\circ$ 代入 (8)

$$\text{式： } Z_Y = \frac{2 \times 80 \times (1 - 0.15) \sin(70^\circ - 25^\circ)}{\cos(60.33^\circ - 70^\circ + 25^\circ)} = 99.7 \angle 70^\circ \Omega$$

整定阻抗 Z_Y 及偏移阻抗 Z'_Y 的标么值

$$Z_{YX} = \frac{Z_Y \angle \phi_Y}{Z_{\sigma \phi}} = \frac{99.7 \angle 70^\circ}{484} = 0.206 \angle 70^\circ$$

$$Z'_{YX} = \frac{K Z_{YX} \angle \phi_Y + 180^\circ}{1 - K} = \frac{0.15 \times 0.206 \angle 70^\circ + 180^\circ}{1 - 0.15} = 0.0364 \angle 250^\circ$$

允许功率圆 M_2 及 N_2 两点的座标：

$$OM_2 = \frac{K_z K_V}{Z_{YX} \angle \phi_Y} = \frac{0.7 \times 0.9}{0.206 \angle 70^\circ} = 3.058 \angle -70^\circ$$

$$ON_2 = \frac{K_z K_V}{Z_{YX} \angle 250^\circ} = \frac{0.7 \times 0.9}{0.0364 \angle 250^\circ} = 17.31 \angle -250^\circ$$

以 $M_2 N_2$ 为直径作出的保护允许功率圆见图八。在负荷功率角 $\phi_{TH} = 25^\circ$ 时，量得保护允许输送功率的标么值为： $S_{YX} = 1.9 \times 2 = 3.8$ ，允许输送功率的有名值： $S_{YX} = 3.8 \times 100 = 3800 MV \cdot A$ ，允许负荷电流 $I_{YX \cdot TH} = 3.8 \times 262.4 = 997 A$ ，与计算所取

值基本相符（绘图稍有误差）。

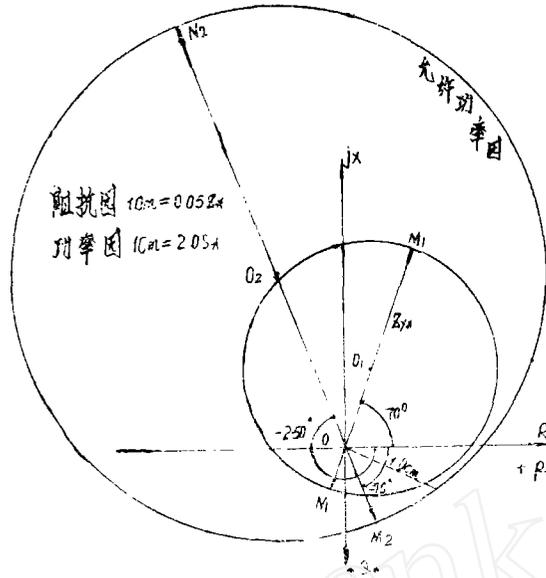


图9. 标例-0 接线的阻抗元件允许功率园

2. -30° 接线的阻抗元件

用(10)式求出 $\phi_{th} - 30^\circ$ 角下的 Z_{dz} ：

$$Z_{dz} = \frac{0.866 \times 0.7 \times 0.9 \times \frac{220}{\sqrt{3}}}{1000} = 69.28 (\Omega)$$

由(12)式求得 $\beta = \text{Cos}^{-1}[(1 - 2 \times 0.15) \text{Sin}(70^\circ - 25^\circ + 30^\circ)] = 47.46^\circ$

代入(11)式求得灵敏角下阻抗元件一次整定阻抗值为：

$$Z_Y = \frac{2 \times 69.28 \times (1 - 0.15) \sin(70^\circ - 25^\circ + 30^\circ)}{\cos(47.46^\circ - 70^\circ + 25^\circ - 30^\circ)} = 128.3 \angle 70^\circ \Omega$$

整定阻抗 Z_Y 及偏移阻抗 Z'_Y 的标么值：

$$Z_{YX} = \frac{128.3 \angle 70^\circ}{484} = 0.265 \angle 70^\circ$$

$$Z'_{YX} = \frac{0.15 \times 0.265 \angle 70^\circ + 180^\circ}{1 - 0.15} = 0.0468 \angle 250^\circ$$

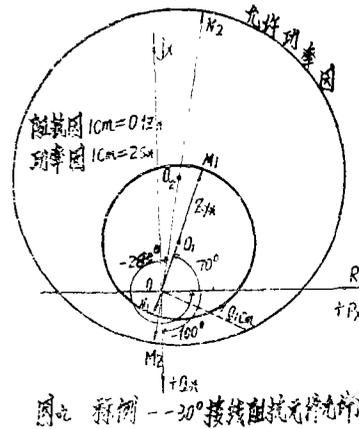
允许功率园 M_2 及 N_2 两点的坐标为：

$$OM_2 = \frac{0.866 \times 0.7 \times 0.9 e^{-j30^\circ}}{0.265 \angle 70^\circ} = 2.059 \angle -100^\circ$$

$$ON_2 = \frac{0.866 \times 0.7 \times 0.9 e^{-j30^\circ}}{0.0468 \angle 250^\circ} = 11.658 \angle -280^\circ$$

以 $M_2 N_2$ 为直径作出的保护允许功率园如图九所示。在负荷功率角 $\phi_{th} = 25^\circ$ 时，

量得保护允许输送功率的标么值为： $S_{YX*} = 1.91 \times 2 = 3.82$ ，允许输送功率有名值为：
 $S_{YX} = 3.82 \times 100 = 382 \text{MVA}$ ，允许负荷电流 $I_{YX \cdot IH} = 3.82 \times 262.4 = 1002 \text{A}$ ，与计算所
 取值基本相符（绘图稍误差）。



(二) 算例二、 110kV 线路距离 III 段，整定阻抗角下一次动作阻抗值 $Z_Y = 70 \angle 70^\circ \Omega$
 偏移度 $K = 0.15$ ，运行在额定电压下 $U_{\phi - \phi} = 110 \text{kV}$ 。

求 0° 接线及 -30° 接线阻抗元件在负荷功率角 $\phi_{IH} = 10^\circ$ 的允许负荷电流。并比较 0°
 接线阻抗元件按方向阻抗计算时，允许负荷电流的差值。

1. 按 0° 接线偏移阻抗继电器计算

负荷阻抗角下的 Z_{dz} 计算

$$\text{由 (1) 式求出: } \beta = \cos^{-1}[(1 - 2 \times 0.15) \sin(70^\circ - 10^\circ)] = 52.68^\circ$$

代入 (2) 式得:

$$Z_{dz} = \frac{70 \cos(52.68^\circ - 70^\circ + 10^\circ)}{2(1 - 0.15) \sin(70^\circ - 10^\circ)} = 47.16 (\Omega)$$

在负荷阻抗角下的允许负荷电流，由 (7) 式得:

$$I_{YX \cdot IH} = \frac{0.7 \times 0.9 + \frac{110 \times 10^3}{\sqrt{3}}}{47.16} = 848.37 \text{A}$$

2. 按 0° 接线方向阻抗继电器计算

由方向阻抗元件求允许负荷电流的计算式得

$$I_{YX \cdot IH} = \frac{K_z K_V \frac{U_{\phi - \phi}}{\sqrt{3}}}{Z_Y \cos(\phi_Y - \phi_{IH})} = \frac{0.7 \times 0.9 \times \frac{110 \times 10^3}{\sqrt{3}}}{70 \cos(70^\circ - 10^\circ)} = 1143.12 \text{A}$$

与按偏移特性阻抗元件计算所得到的允许负荷电流偏差:

$$\delta = \frac{1143.12 - 848.37}{848.37} \times 100\% = 34.74\%$$

若 $K > 0.15$ ， $\phi_{IH} < 10^\circ$ 时偏差将更大一些。

3. 按 -30° 接线的偏移阻抗继电器计算

$\phi_{IH} - 30^\circ$ 角下的 Z_{dz} 计算

将 $\phi_{IH} - 30^\circ$ 取代(1)式中的 ϕ_{IH} 算出:

$$\beta = \cos^{-1}[(1 - 2 \times 0.15) \sin(70^\circ - 10^\circ + 30^\circ)] = 45.57^\circ$$

将 β 值代入(2)式,并用 $\phi_{IH} - 30^\circ$ 取代 ϕ_{IH} 得:

$$Z_{dz} = \frac{70 \cos(45.57^\circ - 70^\circ + 10^\circ - 30^\circ)}{2(1 - 0.15) \sin(70^\circ - 10^\circ + 30^\circ)} = 29.4 \Omega$$

代入(10)式得出允许负荷电流为:

$$I_{yx \cdot IH} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{K_z K_v \frac{U_{\phi} - \phi}{\sqrt{3}}}{Z_{dz}} = \frac{0.866 \times 0.7 \times 0.9 \times \frac{110 \times 10^3}{\sqrt{3}}}{29.4} = 1178.5^A$$

比较1和3的计算结果可知:在偏移阻抗元件定值相同的情况下($\phi_{IH} = 10^\circ$),
 -30° 接线较 0° 接线允许负荷电流大 $\frac{1178.5 - 848.37}{848.37} \times 100\% = 38.9\%$ 。

若用阻抗——导纳圆的反演关系,求作保护允许功率特性圆,所得出的允许负荷电流值与上述计算结果完全相同。

参 考 资 料

《距离保护》“东北电力系统继电保护学习班”讲义第7册第一章

1972.11.