

以故障前补偿电压为基准量的距离继电器研究

胡玉峰¹, 柳焕章²

(1. 广东电网公司佛山供电局调度中心, 广东省 佛山市 528000;

2. 华中电力调度通信中心, 湖北省 武汉市 430074)

Study on Distance Relay Based on Pre-Fault Compensated Voltage

HU Yu-feng¹, LIU Huan-zhang²

(1. Guangdong Power Grid Company Foshan Power Supply Bureau Dispatch Center, Foshan 528000, Guangdong Province, China;

2. Huazhong Power Dispatch & Communication Center, Wuhan 430074, Hubei Province, China)

ABSTRACT: Using the vector plane analysis and impedance plane analysis, this paper presents a fault-component based distance relay construction method which uses the pre-fault compensated voltage as datum component. By the research, the paper explains the essence and the character of several types of common-used fault-component based distance relay, compares their difference in the reliability and sensitivity. Finally, combing the presented method, the paper performs research on constructing fast-distance relay using the universal expression, and gives the detail realization solution scheme. According to the scheme, it is easy to improve the trip speed of the present distance relay and expediently construct the new-type fast distance relay.

KEY WORDS: power system; fault component reactance relay; muti-phases compensated relay; Mho relay; compensated voltage

摘要: 以相量平面法与阻抗平面法为分析手段, 提出一种以故障前补偿电压为基准量的故障分量距离继电器构成方法。通过对该方法的研究, 揭示了目前常用的基于故障分量的距离继电器的通用表达式与动作特性, 对比了这几类距离继电器在可靠性与灵敏性上的差异。最后, 结合文章提出的方法, 对利用通用表达式构成快速距离继电器进行了研究, 给出了具体的构成方法。据此方法可明显地改善目前距离继电器的动作速度, 并方便地构造新型快速距离继电器。

关键词: 电力系统; 故障分量电抗继电器; 多相补偿继电器; 姆欧继电器; 补偿电压

0 引言

工频变化量距离继电器具有灵敏度高, 耐受过渡电阻能力强等特性, 因而在电力系统中得到广泛运用^[1-12]。有研究表明, 工频变化量距离元件从本质上说, 仅是以故障前补偿电压为基准量的系列距离继电器的一种, 借鉴其构成方法与思路, 还可以演变出一系列类似的距离继电器^[5-6]。本文以此为对

象, 对这一系列继电器的特性进行讨论。

1 以故障前补偿电压为基准量的距离继电器统一表达形式

比幅式工频变化量距离元件的表达式:

$$|\dot{U}' - \dot{U}'_{|0}| \geq |\dot{U}'_{|0}| \quad (1)$$

对式(1), 可以在电压平面上给出其几何意义的图形, 见图1所示^[1-2]。图中: $\dot{U}'_{|0}$ 为故障前整定点电压, 亦即故障前的补偿电压; \dot{U}' 为故障后的补偿电压。图中的圆是以相量 $\dot{U}'_{|0}$ 的端点为圆心, $|\dot{U}'_{|0}|$ 为半径的圆。按照式(1), 可以很容易地理解图中圆的外部均为该继电器的动作区间。进一步分析工频变化量距离元件可以知道, 上述电压平面相量关系是以故障前补偿电压为基准的, 即 $\dot{U}'_{|0}$ 为固定量, 它仅决定于故障前的系统工况, \dot{U}' 则为变化量, 它与短路点位置、过渡电阻大小等因素密切相关。

对式(1)作一个通用化的变化, 将其表述为

$$|\dot{U}' - K \cdot \dot{U}'_{|0}| \geq |K \cdot \dot{U}'_{|0}| \quad (2)$$

依据前面的分析方法可知, 随着系数 K 的变化, 式(2)可以在上述电压平面描述一系列的圆, 它们是以相量 $K \cdot \dot{U}'_{|0}$ 的末端端点为圆心, $|K \cdot \dot{U}'_{|0}|$ 为半径的圆系列, 见图(2)所示。其中 K 为实系数。当 $K=1$ 时, 即为常用的工频变化量距离继电器。

根据式(2), 还可推导出该系列继电器在阻抗平面上的动作特性如下:

(1) 正向故障的情况, 其故障分量网络示意图如图3所示。从图中可得

$$\dot{U}'_{F|0} = -\Delta \dot{I} \cdot (Z_s + Z_k) \quad (3)$$

式中, $Z_K = Z_L + \dot{I}_F R_G / \Delta \dot{I}$, 考虑到故障前线路沿线电压不会相差太大, 可假设 $\dot{U}_{F|0} = \dot{U}'_{|0}$, 将式(3)带入式(2), 可得

$$\begin{aligned} |\dot{U}' - K \cdot \dot{U}'_{|0}| &= |\dot{U}' - \dot{U}'_{|0} + (1-K)\dot{U}'_{|0}| = \\ &|\Delta \dot{U}' + (1-K)\dot{U}'_{|0}| \geq |K \cdot \dot{U}'_{|0}| \\ \begin{cases} |\Delta \dot{I} \cdot (Z_s + Z_Y) - (1-K) \cdot \Delta \dot{I} \cdot (Z_s + Z_K)| \geq \\ |K \cdot \Delta \dot{I} \cdot (Z_s + Z_K)| \\ |(1-K) \cdot Z_K - (K \cdot Z_s + Z_Y)| \geq |K \cdot Z_s + K \cdot Z_K| \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

(2) 反向故障的动作特性, 对应的故障分量网络示意图如图4所示。

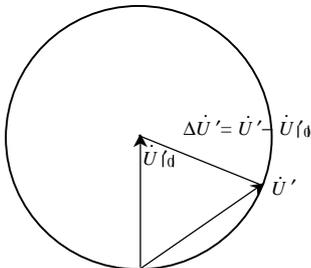


图1 工频变化量距离继电器的电压平面表示图
Fig. 1 The voltage phase diagram of fault component impedance relay

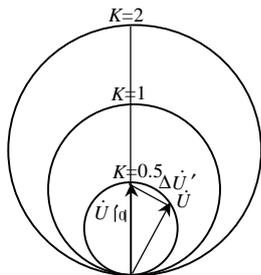


图2 故障前补偿电压为基准量的距离继电器通用电压相量示意图

Fig. 2 The voltage phase diagram of impedance relay based on pre-fault compensation voltage

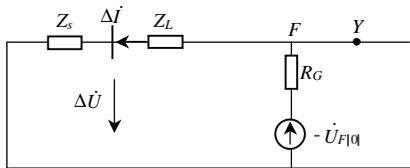


图3 正向故障故障分量网络示意图
Fig. 3 The network diagram of the forward fault fault component

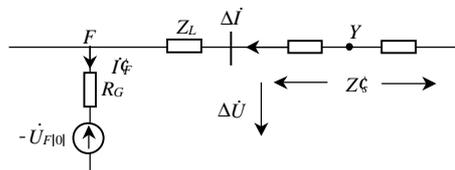


图4 反向故障故障分量网络示意图
Fig. 4 The network diagram of backward fault fault component

此时
$$\begin{cases} \dot{U}_{F|0} = \Delta \dot{I} \cdot (Z'_s + Z_K) \\ \Delta \dot{U}' = -(Z'_s - Z_Y) \cdot \Delta \dot{I} \end{cases} \quad (5)$$

将式(5)代入式(2), 可得

$$\begin{cases} |-\Delta \dot{I} \cdot (Z'_s - Z_Y) + (1-K) \cdot \Delta \dot{I} \cdot (Z'_s + Z_K)| \geq \\ |K \cdot \Delta \dot{I} \cdot (Z'_s + Z_K)| \\ |(1-K) \cdot Z_K - (K \cdot Z'_s - Z_Y)| \geq |K \cdot Z'_s + K \cdot Z_K| \end{cases} \quad (6)$$

2 以故障前补偿电压为基准量的距离继电器动作特性

2.1 故障分量电抗继电器(K=0.5)

取 $K=0.5$, 可以得到表达式

$$|\dot{U}' - \dot{U}'_{|0} / 2| \geq |\dot{U}'_{|0} / 2| \quad (7)$$

该表达式在电压平面上表示以相量 $\dot{U}'_{|0}$ 为直径的圆。见图5所示。图中圆的外部为该继电器的动作区间。按照几何知识, 该动作区间又可表示为

$$|\Delta \dot{U}'| \geq |\dot{U}'_{|0} \cdot \cos \alpha| \quad (8)$$

即式(7)与(8)完全等价, 而式(8)是故障分量电抗继电器的动作方程。因此故障分量电抗继电器是以故障前补偿电压为极化量的系列距离继电器的特例。

故障分量电抗继电器在阻抗平面上的特性可由式(4)与(6)得到, 将 $K=0.5$ 代入式(4)与(6), 得

正向特性方程为

$$|Z_K - (Z_s + 2Z_Y)| \geq |Z_K + Z_s| \quad (9)$$

反向特性方程为

$$|Z_K - (Z'_s - 2Z_Y)| \geq |Z'_s + Z_K| \quad (10)$$

式(9)所表达的是故障分量电抗继电器的正向动作特性, 其在阻抗平面可表示为典型的电抗特性, 见图6中的直线1所示。直线1是以相量 $-Z_s$ 和 $Z_s + 2Z_Y$ 为端点的直线的中垂线, 2条直线的交点对应的相量为 $[(Z_s + 2Z_Y) - Z_s] / 2 = Z_Y$, 即为整定点对应的阻抗相量。若不考虑 Z_s, Z_Y 的电阻分量, 则

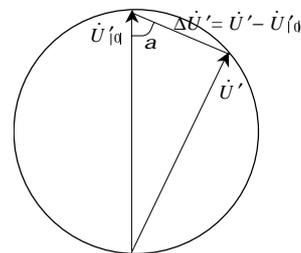


图5 故障分量电抗继电器电压相量示意图
Fig. 5 The voltage phase diagram of fault component reactance

动作区间变为直线 2 所示的动作区。此时是最理想的电抗特性，具有最高的灵敏度。式(10)所表达的是故障分量电抗继电器的反向动作特性，其在阻抗平面的动作区间见图 7 所示。

图中直线 1 是以相量 Z'_s 和 $2Z_Y - Z'_s$ 为端点的直线的中垂线，2 条直线的交点对应的相量为 $[(2Z_Y - Z'_s) + Z'_s]/2 = Z_Y$ ，即为整定点对应的阻抗相量。值得注意的是，图 7 的画法是为了方便与图 6 相比较，将原本第 III 象限的动作区反号后变到第 I 象限。故此时只有 $-Z_K$ 落入图 7 中的动作区保护才动作，而图 6 是 Z_K 落入动作区保护动作。

综合以上的分析可知，故障分量电抗继电器具有极高的灵敏度，在不考虑系统阻抗与线路阻抗中电阻分量的前提下，呈现出理想电抗特性。但从另一个角度说，灵敏度越高，区外故障时出现超越的可能性就越大，故障分量电抗继电器在考虑了系统阻抗角与线路阻抗角差异及送、受端影响后，会出现超越现象。这部分动作特性分析已在许多参考文献上给出^[1-2]。

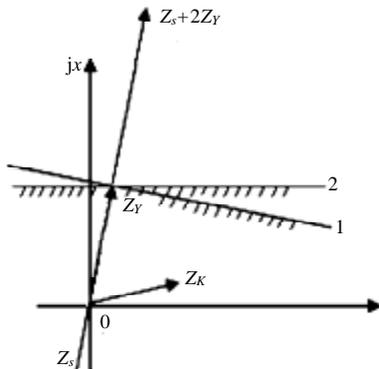


图 6 故障分量电抗继电器正向故障动作特性示意图
Fig. 6 The character of fault component reactance relay using in forward fault

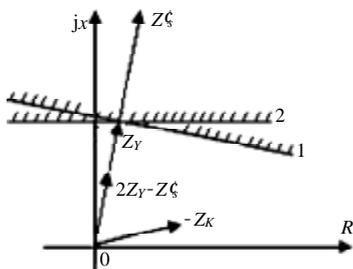


图 7 故障分量电抗继电器反向故障动作特性示意图
Fig.7 The character of fault component reactance relay using in backward fault

2.2 工频变化量距离继电器($K=1$)

当实系数 K 取为 1 时^[3]，以故障前补偿电压为基准量的系列距离继电器就变成常用的工频变化量距离继电器，其动作方程为式(1)，电压平面相量见图 1。工频变化量距离继电器的阻抗平面动作特性

见图 8。图中， C_1 为正向故障时的动作特性，是以相量 $-Z_s$ 的末端为圆心， $Z_s + Z_Y$ 相量之长为半径的圆；圆 C_2 为反向故障时的动作特性，它是以相量 Z'_s 的末端为圆心，相量 $Z'_s - Z_Y$ 之长为半径的圆。

无论从电压相量平面图还是阻抗动作特性图都可以看出：工频变化量距离继电器的动作区范围远小于故障分量电抗继电器，因此，其灵敏度较前者逊色，但在防止超越的性能上要强于前者。研究表明：工频变化量距离继电器在防止超越特性上受过渡电阻影响小，从稳态分析的角度来说不会发生超越现象。

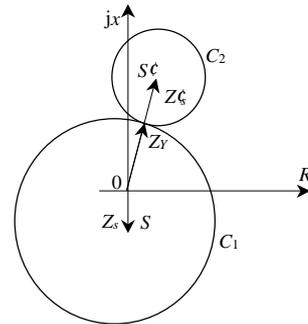


图 8 工频变化量距离继电器阻抗特性图
Fig. 8 The character of fault component impedance relay

2.3 多相补偿距离继电器或姆欧继电器($K=\infty$)

当 K 取为无穷大时，由电压相量平面图可以很清楚地观察到，该系列继电器在电压平面上的动作特性由圆外变成了下半平面，见图 2 所示，此时可以依据电压相量平面图给出 $K=\infty$ 时的动作方程为

$$90^\circ < \text{Arg} \dot{U}' / \dot{U}'_{|0} < 270^\circ \quad (11)$$

观察式(11)可以发现，其实质就是比相式的工频变化量距离继电器，若考虑故障前沿电压相量相差不大，可假设 $\dot{U}'_{|0}$ 近似用故障前母线电压 \dot{U}_{m0} 代替，则动作方程可演化为

$$90^\circ < \text{Arg} \dot{U}' / \dot{U}_{m0} < 270^\circ \quad (12)$$

很明显，式(12)即为带记忆的姆欧继电器。

若考虑故障类型为相间故障，以 BC 两相故障为例，则式(11)可以写为

$$90^\circ < \text{Arg} \dot{U}'_{BC} / \dot{U}'_{BC|0} < 270^\circ \quad (13)$$

考虑整定点 BC 两相故障时 \dot{U}'_{AB} 与 \dot{U}'_A 同相，而两相故障不会影响健全相的相位，即 \dot{U}'_A 与 $\dot{U}'_{A|0}$ 基本同相，同时又有 $\dot{U}'_{A|0} = \dot{U}'_{BC|0} \cdot e^{j90^\circ}$ ，故式(13)可演变为

$$0^\circ < \text{Arg} \dot{U}'_{AB} / \dot{U}'_{CB} < 180^\circ \quad (14)$$

显然，式(14)即为相间多相补偿继电器的动作方程。

上述 $K=\infty$ 时所演变出来的 3 种距离继电器在阻抗平面上有共同的阻抗特性见图 9。与前面 2 类情况相比较， $K=\infty$ 时以故障前补偿电压为基准量的系

列距离继电器灵敏度更低, 保护范围更小, 其动作特性已基本类似于采用稳态量的姆欧继电器。

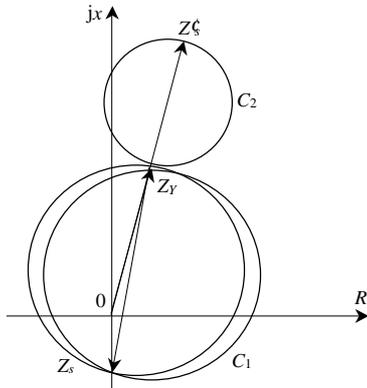


图9 $K=\infty$ 时继电器动作特性图

Fig. 9 The character of protective relay when $K=\infty$

总结前面的3种特例, 可发现如下规律: 以故障前补偿电压为基准量的系列距离继电器通过取不同的 K 值, 可具有不同的动作特性。进而分析该系列继电器的动作特性, 先对式(4)进行演化可得到

$$\left| Z_K - \frac{K \cdot Z_s + Z_y}{1-K} \right| \geq \frac{K}{|1-K|} |Z_K + Z_s| \quad (15)$$

显然, 依据上式得到的测量阻抗 Z_K 的边界轨迹是一个圆周, 圆周上的点到相量 $(K \cdot Z_s + Z_y)/(1-K)$ 与 $-Z_s$ 的距离之比为常数 $K/|1-K|$ 。令

$$\dot{A} = (K \cdot Z_s + Z_y)/(1-K) = A_x + jA_y, \dot{B} = -Z_s =$$

$$B_x + jB_y, Z_K = x + jy, K_1 = K/|1-K|$$

则上式变为

$$\left| Z_K - \dot{A} \right| \geq K_1 \cdot \left| Z_K - \dot{B} \right| \Rightarrow \sqrt{(x - A_x)^2 + (y - A_y)^2} \geq K_1 \sqrt{(x - B_x)^2 + (y - B_y)^2}$$

2边取平方, 整理可得

$$(K_1^2 - 1)x^2 - 2x(K_1^2 \cdot B_x - A_x) - (A_x^2 - K_1^2 \cdot B_x^2) + (K_1^2 - 1)y^2 - 2y(K_1^2 \cdot B_y - A_y) - (A_y^2 - K_1^2 \cdot B_y^2) \leq 0$$

化简可得

$$\left(x - \frac{K_1^2 \cdot B_x - A_x}{K_1^2 - 1} \right)^2 + \left(y - \frac{K_1^2 \cdot B_y - A_y}{K_1^2 - 1} \right)^2 \leq \left(\frac{K_1^2 \cdot B_x - A_x}{K_1^2 - 1} \right)^2 + \left(\frac{K_1^2 \cdot B_y - A_y}{K_1^2 - 1} \right)^2 + \frac{(A_x^2 - K_1^2 \cdot B_x^2 + A_y^2 - K_1^2 \cdot B_y^2)}{(K_1^2 - 1)} \quad (16)$$

由式(16)可直接得到边界圆轨迹的圆心为

$$\left(\frac{K_1^2 \cdot B_x - A_x}{K_1^2 - 1}, \frac{K_1^2 \cdot B_y - A_y}{K_1^2 - 1} \right)$$

半径为

$$\sqrt{\left(\frac{K_1^2 \cdot B_x - A_x}{K_1^2 - 1} \right)^2 + \left(\frac{K_1^2 \cdot B_y - A_y}{K_1^2 - 1} \right)^2 + \frac{A_x^2 - K_1^2 \cdot B_x^2 + A_y^2 - K_1^2 \cdot B_y^2}{K_1^2 - 1}}$$

根据圆心的坐标公式, 可得知圆心对应的相量可由 \dot{A}, \dot{B} 两相量通过线性组合得到, 其组合公式为

$$\dot{B} \cdot K_1^2 / (K_1^2 - 1) - \dot{A} / (K_1^2 - 1)$$

考虑到 $\dot{B} = -Z_s$ 以及

$$\dot{A} = (K \cdot Z_s + Z_y) / (1 - K) = -Z_s - (Z_s + Z_y) / (K - 1)$$

从而得到圆心对应的相量为

$$-Z_s - \frac{Z_s + Z_y}{(K - 1)(K_1^2 - 1)} = -Z_s + \frac{(Z_s + Z_y)(K - 1)}{2K - 1} \quad (17)$$

式(17)是以故障前补偿电压为基准量的系列距离继电器正向故障时动作特性圆的圆心通用表达式。利用该式考察上面的几种特例: $K=1$ 时, 圆心位于相量 $-Z_s$ 的末端; $K=\infty$ 时圆心位于相量 $-Z_s + (Z_s + Z_y)/2$ 的末端, 即相量 Z_s 与 Z_y 端点连线的中点, 均与实际情况相吻合。观察表达式(15), 可以发现, $Z_k = Z_y$ 恒定满足动作判据, 故整定阻抗相量的末端必在该系列圆特性上。

有了圆心通用表达式(17)以及轨迹圆通过 Z_y 点这2个条件, 就可以定性地分析出正向故障时该系列继电器在阻抗平面上的动作特性了。

当 $K>1$ 时, 随着 K 的增大, 圆心在相量 $-Z_s$ 与 Z_y 的连线上向 Z_y 移动, 半径的大小为圆心到 Z_y 的长度, 因此, 这种情况下最大的圆是 $K=1$ 时对应的情况, 此时圆心位于相量 $-Z_s$ 的末端, 半径为 $-Z_s$ 与 Z_y 连线的长度, 即前面所说的工频变化量距离继电器; 最小的圆是 $K=\infty$ 时对应的情况, 此时圆心位于相量 $-Z_s$ 与 Z_y 连线的中点, 半径为 $(Z_s + Z_y)/2$, 即前面所论述的类姆欧继电器。

当 $0.5 < K < 1$ 时, 随着 K 的增大, 圆心在相量 Z_y 与 $-Z_s$ 连线的延长线上向远离 $-Z_s$ 的方向移动, 半径的大小为圆心到 Z_y 的长度, 且逐步增大, 极限情况 $K=0.5$ 时, 圆心将位于第 III 象限的无穷远处, 半径为无穷大, 此时过 Z_y 的圆弧可看作是一条直线, 与前面的分析一致。

综上所述, 该类型继电器在阻抗平面上的动作特性见图 10。依照同样的方法, 可对反向故障时该系列继电器在阻抗平面上的动作特性进行分析, 论文在此处不作累述, 直接给出特性图如图 11 所示。

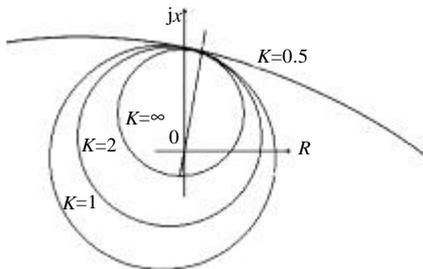


图 10 以故障前补偿电压为基准量的系列距离继电器正向故障动作特性
Fig. 10 The impedance relay character based on pre-fault component voltage as benchmark when using in forward fault

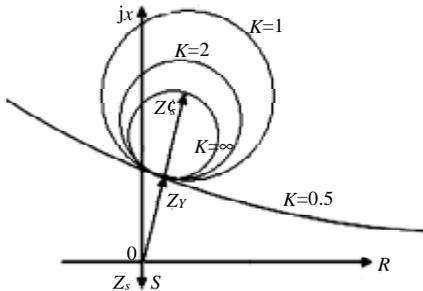


图 11 以故障前补偿电压为基准量的系列距离继电器反向故障动作特性
Fig. 11 The impedance relay character based on pre-fault component voltage as benchmark when using in backward fault

3 距离继电器的实现新方法

依据上述的规律总结以及对通用型距离继电器的表达形式和阻抗平面上动作特性的分析，可以提高目前距离保护的動作速度，或构造出一系列基于短窗算法的快速距离保护。

在论述新方法之前，先借鉴一下工频变化量距离继电器的实现方法^[4-9]。

观察工频变化量距离继电器的动作方程式(1)可以发现：不等式的右边 $|\dot{U}'_{|0}|$ 为一固定常数，其大小为故障前补偿电压的幅值，因而可在故障发生前进行实时计算，一旦通过故障启动元件检测到有扰动产生，则该值固定，不占用故障后的计算时间且与故障后保护算法采用的数据窗无关。因此，该动作方程实现的关键在于补偿点电压突变量 $\Delta\dot{U}' = \dot{U}' - \dot{U}'_{|0}$ 的计算。

由于需要提供快速保护，依照传统的全周傅式算法来得到上述相量的方法显然不可取，因此需要采用短窗算法。通常该保护的实现是利用积分算法来实现的，即假设 $\Delta\dot{U}'$ 为标准正弦量，从而得其幅值计算为

$$S = \int_0^{T/2} \sqrt{2}\Delta U_m |\sin \omega t| dt = \frac{2\sqrt{2}}{w} \Delta U_m$$

式中 $\Delta U_m = Sw/2\sqrt{2}$ 。

故动作方程式(1)可以表述为

$$S_{op} = \int_0^{T/2} |\Delta u_{op}(t)| dt \geq \frac{2\sqrt{2}}{w} |\dot{U}'_{|0}|$$

再对该积分进行离散化处理，得到

$$S_{op} = \sum_{K=0}^{N/2} |\Delta u_{op}(K)| \cdot T_s \geq \frac{2\sqrt{2}}{w} |\dot{U}'_{|0}|$$

式中： $\Delta u_{op}(k)$ 为补偿电压瞬时值； T_s 为采样周期； N 为一周波内的采样点数。

上述的计算公式虽然采用了半周积分，实质上在实现时并不需要等到半周才开始保护计算，而是在保护一启动就进行该积分算法，一旦积分值超过定值，保护就动作。因此，工频变化量距离继电器在出口严重性故障时具有极好的速动性^[10]。

上面的实现方法中一个关键的问题在于：如何得到补偿点电压的瞬时值。因为保护所能得到的仅仅是其安装处的电流、电压值，而按照物理定义，补偿点电压相量计算公式为 $\dot{U}' = \dot{U} - \dot{i} \cdot Z_Y$ ，该公式因为涉及相量计算，无法直接转换为瞬时值算法，必须作一定的变换。

虽因不是线性变化，相量计算无法直接过渡到瞬时值计算，但代数计算则可以实现上述目的。对于保护可直接得到的相量 \dot{U} 与 $\dot{i} \cdot Z_Y$ ，在金属性故障的前提下，两者的夹角较小，可将相量计算转换为代数计算，并进一步转化为瞬时值计算。为此，需要解决的问题是：在瞬时值计算时实现电流相位的偏转，使之偏转 $q_Y = \text{Arg}Z_Y$ 后，其相位与电压相位一致，就可以将相量计算转换为代数计算，而直接利用瞬时值算法了。

基于以上分析，采用移相算法将保护所得到的电流相量 \dot{i}_m 与其本身滞后 a 角的电流相量相减，即 $i_a(t) = i_m(t) - i_n(t) = \sqrt{2}I_m \sin \omega t - \sqrt{2}I_m \cdot$

$$\begin{aligned} \sin(\omega t - a) &= 2\sqrt{2}I_m \sin(a/2) \cos(\omega t - a/2) = \\ &= 2\sqrt{2}I_m \sin(a/2) \sin(\omega t + 90^\circ - a/2) \end{aligned}$$

故 $i_a(t)/(2\sin a/2) = \sqrt{2}I_m \sin(\omega t + 90^\circ - a/2)$ 。

可见， i_a 超前 i_m 的相角是 $(90^\circ - a/2)$ ，幅值是 $i_m(t)$ 的 $2\sin a/2$ 倍。

上述算法在离散系统中计算时容易实现，只需选取适当的采样率与计算间隔，保证 $a = p\omega T_s = p2\pi/N = q_Y$ 即可(其中 P 为间隔系数，可根据需要选取)。

完成上述移相后，采用下面的代数计算公式计算补偿点电压的采样值

$$u'(k) = u(k) - k_{set} \cdot (i(k) - i(k-p)) / 2 \sin(p\pi/N) \quad (18)$$

其中 $u(k), i(k)$ 为保护直接测量到的电压、电流量的采样值, $u'(k)$ 为对应的补偿电压瞬时值, k_{set} 为整定阻抗的大小, 即 $k_{set} = |Z_Y|$ 。

采用上述方法, 就可依据保护所能得到的电流、电压的采样值直接计算出对应的补偿电压的采样值, 进而通过积分计算实现保护的短窗算法。

按照这个思路, 以故障前补偿电压为极化量的系列距离继电器均可以实现短窗算法, 其方法与工频变化量距离继电器的实现方法一致。

有了上述工具, 就可明显地改善目前距离继电器的动作速度, 并方便地构造新型快速距离继电器。

以前面所述 $K = \infty$ 对应的比相式工频变化量距离继电器或类似于带记忆的姆欧继电器或相间多相补偿继电器为例, 依据以故障前补偿电压为基准量的通用距离继电器表达式(2), 上述3种距离继电器可以改变传统计算相量再比相的实现方法, 而改用上述短窗算法, 可实现加速保护动作的目的。

需要指出的是: 之所以能实现上述目的, 主要的原因是上述继电器被统一表述成了比幅式动作方程式(2)。但这种转换不同于以往基于平行四边形理论的比幅式与比相式继电器的转化, 而是在一个新的基准量平台上的统一表述。

同样, 采用通用的继电器表达形式还可以方便地构造新型距离继电器。如前所述, 该系列继电器对应的 K 值范围为 $0.5 \leq K < \infty$, 在这个区间的任意取值, 都能构成新型的距离继电器。

4 结论

本文通过对目前常用的工频变化量距离继电器的研究, 提出一种新型的以故障前补偿电压为基准量距离继电器表达方法。依据该表达方法选取不同的实系数 K , 可以演变出一系列具有类似动作特性的距离继电器, 论文对该系列继电器进行了系统研究, 给出了几种 K 的典型取值下对应的距离继电器的动作方程、电压平面相量特性以及阻抗平面动作特性, 并通过对这几种继电器特性的归纳总结得出该系列继电器的特性变化规律。

在以上工作的基础上, 文章就如何运用该系列距离继电器做了研究, 提出利用统一表达形式来实现类似姆欧继电器、比相式工频变化量距离继电器及相间多相补偿继电器的短窗算法, 同时文章还就利用统一表达式构造新的距离继电器作出了讨论。

参考文献

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社 1985.
- [2] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [3] 戴学安. 继电保护原理的重大突破—综论工频变化量继电器[J]. 电力系统自动化, 1995, 19(1): 41-47.
Dai Xuean. A brief discussion on the protection relay based on power frequency variation principle[J]. Automation of Electric Power System 1995, 19(1): 41-47(in Chinese).
- [4] 叶萍, 陈德树. 一种能克服 I0 极化接地距离继电器区外稳态超越问题的新方案[J]. 中国电机工程学报, 1995, 15(3): 199-203.
Ye Ping, Chen Deshu. New algorithm of I0 polarized ground distance relay[J]. Proceedings of the CSEE, 1995, 15(3): 199-203(in Chinese).
- [5] 柳焕章. 阻抗保护分析中电压平面与阻抗平面的变换[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(1): 40-43.
Liu Huanzhang A novel impedance protection analysis method based on the transform from the voltage plane to the impedance plane[J]. Proceedings of the CSEE 2004, 24(1): 40-43(in Chinese).
- [6] 李岩, 陈德树, 尹项根, et al. 新型自适应姆欧继电器的研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(1): 80-83.
Li Yan, Chen Deshu, Yin Xianggen, et al. Study on the new adaptive MHO relay[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(1): 80-83(in Chinese).
- [7] 张艳霞, K K Li. 基于微分方程的自适应窗长距离保护算法研究[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(7): 24-27.
Zhang Yanxia, K K Li. Study of adaptive windows length algorithm based on linear differential equation[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(7): 24-27(in Chinese).
- [8] 李永丽, 陈超英, 贺家李. 一种基于半周傅式算法的继电保护快速算法[J]. 电网技术, 1996, 20(1): 52-55.
Li Yongli, Chen Chaoying, He Jiali. A fast algorithm based on half-cycle fourier algorithm for protective relaying[J]. Power System Technology 1996, 20(1): 52-55(in Chinese).
- [9] 张哲, 陈德树. 新型微机距离保护的研究[J]. 中国电机工程学报 1994, 14(6): 36-40.
Zhang Zhe, Chen Deshu. A new digital impedance relay with improved performance[J]. Proceedings of the CSEE, 1994, 14(6): 36-40(in Chinese).
- [10] 苏斌, 贺家李, 董新洲. 快速工频量高频方向保护的新方案[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000, 12(6): 37-40.
Su Bin, He Jiali, Dong Xinzhou. New scheme of high speed power line carrier protection based on power frequency voltages and currents[J]. Proceedings of the EPSA, 2000, 12(6): 37-40(in Chinese).
- [11] 袁荣湘, 陈德树, 尹项根等. 基于故障分量的采样值电流差动保护研究[J]. 继电器, 2000, 28(3): 9-11.
Yuan Rongxiang, Chen Deshu et al. Study on the current differential protection based on sampled values using fault component[J]. Relay 2000, 28(3): 9-11(in Chinese).
- [12] 许正亚. 输电线路新型距离保护[M]. 北京: 中国水利水电出版社 2002.

收稿日期: 2006-03-26.

作者简介:

胡玉峰(1975—), 男, 博士, 工程师, 从事电力系统继电保护研究与电网运行方式安排工作, hu_yufeng2002@163.com;

柳焕章(1954—), 男, 高级工程师, 从事继电保护研究、运行管理和整定计算。

(责任编辑 喻银凤)