

关于 220KV 电力系统接地距离保护在 正定配合问题上的一些分析

湖北省电力中调所 何志远

我省 220KV 电力系统，至今为止大部分是采用 PLH-12AI 型接地距离综合重合闸装置，全系统计有 14 套。

对于接地距离保护的整定、过去，我们只简单地按照普通相间距离保护的整定原则进行计算，由于这种计算方法是极不严格的，有些条件甚至是错误的，因此，我系统曾发生过两次区外故障引起保护越级误动的事故，一次是 74 年 11 月 28 日 M 变 110KV 母线由于爆破炸断一相导线后又甩到另一相造成两相接地故障，见图。



图 1

C05 距离 II 段动作跳闸，虽然切除了一侧故障，但与原整定意图不符，原整定中要求 C05 距离 II 段应躲过 M 变 110KV 母线故障，但在计算中，只是按相间距离的原则整定。这样就因为变压器的另序阻抗等于正序阻抗，故其另序补偿系数 K 值与线路的 K 值是不相同的，因此在另序电流补偿的作用下，C05 阻抗元件测量到的阻抗保护范围伸长，因而可能引起越级误动。另一次是 75 年 9 月 25 日，T 变 110KV 馈线 (TL 线) 发

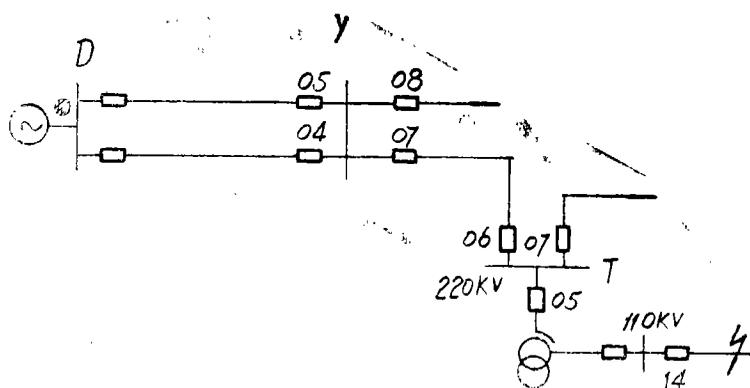


图 2

生单相接地故障。见图 2 因 T 14 开关另序功率极性接反拒动，结果使 Y 07 距离 II 段越级动作跳闸，这也是不符合原定意图的，经分析，这次误动的原因可能有二，一是如上所述，正定中虽按要求躲过变压器 110 K V 母线计算，但亦未考虑变压器的 K 值问题。另一方面是正定中未考虑负荷电流的影响，因为考虑负荷电流影响后，将使保护范围大大缩短，则线末故障灵敏度不够。

通过这两次事故，表明接地距离的正定是一个很重要的问题，特别是最近年来，我们 220 K V 系统除使用原有的接地距离保护装置外，又大量地采用 LH—15 型相间距离保护，因此，接地距离的正定计算，迫切需要解决两个问题，一个是接地距离与接地距离的配合问题，另一个是接地距离与另序电流保护之间的配合问题，我们曾对距离 II 段的正定配合作过一些初浅的分析。根据我系统实际情况，在不考虑平行线间的另序互感情况下，接地距离与接地距离的正定配合问题，其具体分析如下。一次接线如图 3 所示。

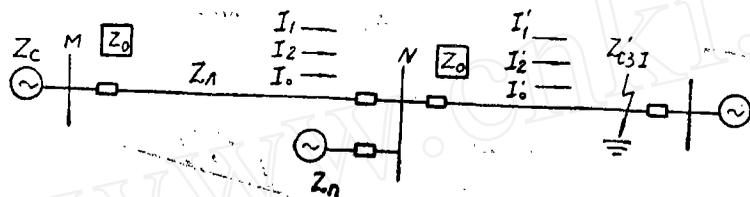


图 3

在上图中，本线段和相邻段均设有接地距离 Z_0 ，如果假设在相邻线段 N 处接地距离保护范围末端刚好发生单相或两相接地短路故障，则在本线段 M 处接地距离所感受的阻抗应为：

$$Z_P = \frac{U_\phi}{I_\phi + K3I_0}$$

为使本保护与 N 处接地距离保护有配合关系，则 M 处的接地距离保护第 II 段正定应为：

$$Z_{C3.I} = K_H Z_P = K_H \frac{U_\phi}{I_\phi + K3I_0}$$

由于发生单相接地或两相接地短路时，继电器测量的阻抗是不相同的。因此，我们可以分为下面两种情况来讨论：

(一) 单相接地短路时；

如果在 N 处接地距离保护范围末端发生单相接地故障，则 M 处的电压：

$$\begin{aligned} U_\phi &= \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_0 \quad \text{其中: } \dot{U}_1 = \dot{U}_{1K} + \dot{I}_1 Z_{1A} + \dot{I}'_1 Z'_{1C3I} \\ \dot{U}_2 &= \dot{U}_{2K} + \dot{I}_2 Z_{2A} + \dot{I}'_2 Z'_{2C3I}, \quad \dot{U}_0 = \dot{U}_{0K} + \dot{I}_{0A} Z_0 + \dot{I}'_0 Z'_{0C3I} \\ \text{而 } \dot{U}_{1K} + \dot{U}_{2K} + \dot{U}_{0K} &= 0 \quad \text{所以} \\ Z_{C3.I} &= K_H \frac{\dot{U}_\phi}{\dot{I}_\phi + K3 \dot{I}_0} = K_H \frac{\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_0}{\dot{I}_\phi + K3 \dot{I}_0} \end{aligned}$$

$$= K_H \left\{ \frac{(\dot{I}_1 Z_{1x} + \dot{I}'_1 Z'_{1cs,1}) + (\dot{I}_2 Z_{2x} + \dot{I}'_2 Z'_{2cs,1}) + (\dot{I}_0 Z_{0x} + \dot{I}'_0 Z'_{0cs,1})}{\dot{I}_\phi + K_3 \dot{I}_0} \right\}$$

$$= K_H \left\{ \frac{(\dot{I}_1 Z_{1x} + \dot{I}'_1 Z'_{1cs,1}) + (\dot{I}_2 Z_{2x} + \dot{I}'_2 Z'_{2cs,1}) + (\dot{I}_0 Z_{0x} + \dot{I}'_0 Z'_{0cs,1}) + (\dot{I}_0 Z_{1x} + \dot{I}'_0 Z'_{1cs,1}) - (\dot{I}_0 Z_{1x} + \dot{I}'_0 Z'_{1cs,1})}{\dot{I}_\phi + K_3 \dot{I}_0} \right\}$$

$$= K_H \left\{ \frac{(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0) Z_{1x} + (\dot{I}'_1 + \dot{I}'_2 + \dot{I}'_0) Z'_{1cs,1} + \dot{I}_0 (Z_{0x} - Z_{1x}) + \dot{I}'_0 (Z'_{0cs,1} - Z'_{1cs,1})}{\dot{I}_\phi + K_3 \dot{I}_0} \right\}$$

$$= K_H \left\{ \frac{(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0) Z_{1x} + \frac{3 \dot{I}_0 (Z_{0x} - Z_{1x})}{3 Z_{1x}} \cdot Z_{1x} + (\dot{I}'_1 + \dot{I}'_2 + \dot{I}'_0) Z'_{1cs,1} + \frac{3 \dot{I}'_0 (Z'_{0cs,1} - Z'_{1cs,1})}{3 Z'_{1cs,1}} \cdot Z'_{1cs,1}}{\dot{I}_\phi + K_3 \dot{I}_0} \right\}$$

$$\text{令 } K = \frac{Z_{0x} - Z_{1x}}{3 Z_{1x}}, \quad K' = \frac{Z'_{0cs,1} - Z'_{1cs,1}}{3 Z'_{1cs,1}} \quad \text{则上式}$$

$$= K_H \left\{ \frac{(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0) Z_{1x} + K_3 \dot{I}_0 Z_{1x} + (\dot{I}'_1 + \dot{I}'_2 + \dot{I}'_0) Z'_{1cs,1} + K'_3 \dot{I}'_0 Z'_{1cs,1}}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K_3 \dot{I}_0} \right\}$$

$$= K_H \left\{ Z_{1x} + \frac{\dot{I}'_1 + \dot{I}'_2 + \dot{I}'_0 + K'_3 \dot{I}'_0}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K_3 \dot{I}_0} \cdot Z'_{1cs,1} \right\}$$

$$\text{令 } K_{P1} = \frac{\dot{I}'_1}{\dot{I}_1}, \quad K_{P2} = \frac{\dot{I}'_2}{\dot{I}_2}, \quad K_{P0} = \frac{\dot{I}'_0}{\dot{I}_0} \quad \text{则上式}$$

$$= K_H \left\{ Z_{1x} + \frac{K_{P1} \dot{I}_1 + K_{P2} \dot{I}_2 + K_{P0} \dot{I}_0 + K'_3 K_{P0} \dot{I}_0 + K_{P1} \dot{I}_0 - K_{P1} \dot{I}_0}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K_3 \dot{I}_0} \cdot Z'_{1cs,1} \right\}$$

$$= K_H \left\{ Z_{1x} + \frac{K_{P1} (\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0) + (K_{P0} - K_{P1}) \dot{I}_0 + K'_3 K_{P0} \dot{I}_0}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K_3 \dot{I}_0} Z'_{1cs,1} \right\}$$

$$= K_H \left\{ Z_{1x} + \frac{K_{P1} (\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0) + K_{P1} K_3 \dot{I}_0 - K_{P1} K_3 \dot{I}_0 + (K_{P0} - K_{P1} + K'_3 K_{P0}) \dot{I}_0}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K_3 \dot{I}_0} Z'_{1cs,1} \right\}$$

$$= K_H \left\{ Z_{1x} + K_{P1} Z'_{1cs,1} + \frac{(K_{P0} - K_{P1} + K'_3 K_{P0} - K_3 K_{P1}) \dot{I}_0}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K_3 \dot{I}_0} Z'_{1cs,1} \right\}$$

$$= K_H \left\{ Z_{1x} + K_{P1} Z'_{1cs,1} + \frac{[(K_{P0} - K_{P1}) + K_3 K_{P0} - K_3 K_{P0} + K'_3 K_{P0} - K_3 K_{P1}] \dot{I}_0}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K_3 \dot{I}_0} Z'_{1cs,1} \right\}$$

$$\begin{aligned}
&= K_H \left[Z_{1x} + K_{P1} Z'_{1C3.1} - \frac{[(K_{P0} - K_{P1})(1+3K) + (K' - K)3K_{P0}] \dot{I}_0 \cdot Z'_{1C3.1}}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K3 \dot{I}_0} \right] \\
&= K_H \left[Z_{1x} + K_{P1} Z'_{1C3.1} + \frac{(K_{P0} - K_{P1})(1+3K) \dot{I}_0 \cdot Z'_{1C3.1}}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K3 \dot{I}_0} + \frac{(K' - K)3K_{P0} \dot{I}_0 \cdot Z'_{1C3.1}}{\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K3 \dot{I}_0} \right] \\
&= K_H \left[Z_{1x} + K_{P1} Z'_{1C3.1} + \frac{(K_{P0} - K_{P1})(1+3K) \dot{I}_0 \cdot Z'_{1C3.1}}{\dot{I}_0 + K3 \dot{I}_0} + \frac{(K' - K)3K_{P0} \dot{I}_0 \cdot Z'_{1C3.1}}{\dot{I}_0 + K3 \dot{I}_0} \right] \\
&\dots\dots\dots (1)
\end{aligned}$$

式中: K_H ——可靠系数。

Z_{1x} 、 Z_{2x} 、 Z_{0x} ——本线段的正序, 负序, 另序阻抗, 且设 $Z_{1x} = Z_{2x}$ 。

$Z'_{1C3.1}$ 、 $Z'_{2C3.1}$ 、 $Z'_{0C3.1}$ ——相邻线段接地距离保护第 I 段正定值, 同样
设 $Z'_{1C3.1} = Z'_{0C3.1}$ 。

I_1 、 I_2 、 I_0 ——本线段中流过的正、负、另序电流。

I'_1 、 I'_2 、 I'_0 ——相邻线段中流过的正、负、另序电流。

K_{P1} 、 K_{P2} 、 K_{P0} ——正序、负序、另序网络中的助增系数(分支系数)

K 、 K' ——本线段和相邻线段的另序补偿系数。

(二) 两相接地短路时:

如果在 N 处接地距离保护范围末端发生两相 (B 、 C 相) 接地故障, 则 M 处的电压为 $\dot{U}_B = a^2 \dot{U}_1 + a \dot{U}_2 + \dot{U}_0$, $U_C = a \dot{U}_1 + a^2 \dot{U}_2 + \dot{U}_0$ 。因为 B 、 C 两相感受的阻抗相同, 故只讨论 B 相。所以

$$\begin{aligned}
Z_{C3.1} \cdot \frac{K_H \dot{U}_B}{\dot{I}_B + K3 \dot{I}_0} &= K_H \frac{a^2 \dot{U}_1 + a \dot{U}_2 + \dot{U}_0}{\dot{I}_B + K3 \dot{I}_0} \\
&= K_H \left[\frac{a^2 (\dot{I}_1 Z_{1x} + \dot{I}'_1 Z'_{1C3.1}) + a (\dot{I}_2 Z_{2x} + \dot{I}'_2 Z'_{2C3.1}) + (\dot{I}_0 Z_{0x} + \dot{I}'_0 Z'_{0C3.1})}{\dot{I}_B + K3 \dot{I}_0} \right] \\
&= K_H \left[\frac{(a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0) Z_{1x} + (a^2 \dot{I}'_1 + a \dot{I}'_2 + \dot{I}'_0) Z'_{1C3.1} + \dot{I}_0 (Z_{0x} - Z_{1x}) + \dot{I}'_0 (Z'_{0C3.1} - Z'_{1C3.1})}{\dot{I}_B + K3 \dot{I}_0} \right] \\
&= K_H \left[\frac{(a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0) Z_{1x} + \frac{3 \dot{I}_0 (Z_{0x} - Z_{1x})}{3 Z_{1x}} \cdot Z_{1x} + (a^2 \dot{I}'_1 + a \dot{I}'_2 + \dot{I}'_0) Z'_{1C3.1}}{\dot{I}_B + K3 \dot{I}_0} \right. \\
&\quad \left. + \frac{3 \dot{I}'_0 (Z'_{0C3.1} - Z'_{1C3.1})}{3 Z'_{1C3.1}} \cdot Z'_{1C3.1} \right] \\
&= K_H \left[Z_{1x} + \frac{a^2 \dot{I}'_1 + a \dot{I}'_2 + \dot{I}'_0 + K' 3 \dot{I}'_0}{a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K3 \dot{I}_0} Z'_{1C3.1} \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= K_H \left\{ Z_{1\pi} + \frac{K_{P1} a^2 \dot{I}_1 + K_2 a \dot{I}_2 + K_{P0} \dot{I}_0 + K_{P0} K' 3 \dot{I}_0 + K_{P1} \dot{I}_0 - K_{P1} \dot{I}_0}{a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K 3 \dot{I}_0} Z'_{1C3.1} \right\} \\
&= K_H \left\{ Z_{1\pi} + \frac{K_{P1} (a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0) + (K_{P0} - K_{P1}) \dot{I}_0 + K_{P0} K' 3 \dot{I}_0 + K_{P1} K 3 \dot{I}_0 - K_{P1} K 3 \dot{I}_0}{a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K 3 \dot{I}_0} \cdot Z'_{1C3.1} \right\} \\
&= K_H \left\{ Z_{1\pi} + K_{P1} Z'_{1C3.1} + \frac{(K_{P0} - K_{P1} + K' 3 K_{P0} - K 3 K_{P0}) \dot{I}_0}{a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K 3 \dot{I}_0} Z'_{1C3.1} \right\} \\
&= K_H \left\{ Z_{1\pi} + K_{P1} Z'_{1C3.1} + \frac{(K_{P0} - K_{P1} + K 3 K_{P0} - K 3 K_{P0} + K' 3 K_{P0} - K 3 K_{P1}) \dot{I}_0}{a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K 3 \dot{I}_0} \cdot Z'_{1C3.1} \right\} \\
&= K_H \left\{ Z_{1\pi} + K_{P1} Z'_{1C3.1} + \frac{[(K_{P0} - K_{P1})(1 + 3K) + (K' - K) 3 K_{P0}] \dot{I}_0}{a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + K 3 \dot{I}_0} \cdot Z'_{1C3.1} \right\} \\
&= K_H \left\{ Z_{1\pi} + K_{P1} Z'_{1C3.1} + \left[\frac{(K_{P0} - K_{P1})(1 + 3K) \dot{I}_0}{I_B + K 3 \dot{I}_0} + \frac{(K' - K) 3 K_{P0} \dot{I}_0}{I_B + K 3 \dot{I}_0} \right] Z'_{1C3.1} \right\} \\
&= K_H \left\{ Z_{1\pi} + K_{P1} Z'_{1C3.1} + \frac{(K_{P0} - K_{P1})(1 + 3K) \dot{I}_0}{I_B + K 3 \dot{I}_0} Z'_{1C3.1} + \frac{(K' - K) 3 K_{P0} \dot{I}_0}{I_B + K 3 \dot{I}_0} Z'_{1C3.1} \right\} \\
&\dots\dots\dots (2)
\end{aligned}$$

式中所示符号与前相同。

对于式中 I_1, I_2, I_0 电流的求取, 应考虑在相邻线路保护范围末端发生单相或两相接地故障时, 选择其最严重的运行方式, 然后根据两种接地短路的计算结果, 确定其正定值。

从上述两式可知, 接地距离与接地距离的正定配合, 是不能按照普通相间距离保护的原则正定的, 因为普通相间距离的正定, 只须考虑上两式中的第 I 项和第 II 项, 而不必考虑第 III 项和第 IV 项, 对于接地距离的正定, 则必须考虑第 III 项和第 IV 项的影响, 其中第 III 项是由于另序网络的分支系数 K 和正序网络中的分支系数 K_{P1} 的数值不同所引起的, 而第 IV 项则是由于本线段和相邻线段另序电流补偿系数不同所引起的。在考虑第 III 项时, 一般可分三种情况 (一) $K_{P0} = K_{P1}$ 则第三项为另, 即接地距离正定与相间距离一样, 不受 K_{P0} 和 K_{P1} 数值不同的影响, (二) 当 $K_{P0} > K_{P1}$ 第三项将使接地距离比相间距离的正定范围伸长。(三) 当 $K_{P0} < K_{P1}$ 第三项为负, 则将使接地距离比相间距离的正定范围缩短。同样, 在考虑第 IV 项时, 也可分为 $K' = K$; $K' > K$; $K' < K$ 三种情况, 对接地距离的影响, 也可得出同上述相类似的结论。因此, 由于接地距离与相间距离的正定原则不同, 所以, 在设计距离保护装置时, 最好不要采用由接地距离切换成相间距离的相别切换方式, 以免由于接地距离保护考虑第 III 项和第 IV 项的影响, 而伸长或缩短了相间距离的正定范围。

对于目前我系统采用的 PLH—12/A I 型接地距离保护装置, 因系采用接地距离

切换成相间的相别切换方式。因此正定时，必须考虑接地距离和按相间距离原则正定后两者所得结果中取其最小正定值。由上两式，显然可以看出，当 $K_{\beta} > K_{\beta 1}$ 时，则不考虑第Ⅲ项，当 $K \geq K$ 时，则不考虑第Ⅳ项，意即牺牲接地距离的正定范围，而按相间距离保护的原则来正定。反之当 $K_{\beta} < K_{\beta 1}$ ，或 $K' < K$ 时，则必须牺牲相间距离的正定范围，而按接地距离保护的原则来正定。

同理也可推论，在接地距离与变压器阻抗配合时，亦可采用上式，所不同仅是将两式中的 Z'_{10} ，换成变压器的正序阻抗 Z_{1T} ，而其 K 值则可用变压器的另序阻抗 Z_{0T} 和正序阻抗 Z_{1T} 来求取。

上述分析计算时很复杂，是否妥当希予研究。

前面只谈接地距离与接地距离的配合，至于接地距离与相邻线路的另序电流保护更加麻烦，一般认为用短路电流曲线法，求出其相邻线路的最小保护范围，然后按上两公式进行计算，即使如此，其计算工作量也是非常繁重的，所以接地距离的正定计算，是相当复杂的，有必要再探讨些更简便的方法，特别需要进一步研究在有平行线路的网络或考虑有过渡电阻影响的接地短路的情况下，其正定方法如何？还得作大量的工作，如果这些问题能得到解决，这对于广泛使用接地距离将是有利的。

对于有串补电容装置的线路，因为电容器的正序，负序和另序阻抗均相等，其另序电流补偿系数 K 值与线路的 K 值是不同的，因此，在正定中亦应考虑此因素，这样，使正定工作大为复杂，考虑到在短路故障情况下，一般电容器的保护间隙均可击穿，所以，我们在正定计算暂时不考虑此问题。

此外，严格来说，线路上的正序电抗与另序电抗之比，并不等于正序电阻与另序电阻之比。实际上另序电阻比正序电阻大得多，也就是说，在阻抗平面上，正序阻抗的阻抗角(φ_{K1})并不等于另序阻抗的阻抗角(φ_{K0})。前者偏大，后者偏小。但在一般正定计算中，都假设它们是相等的，这是不符合实际的，由于要考虑这些因素，将使保护正定更为复杂，因此，我们在正定计算中也暂时未考虑此因素。不考虑此因素，对保护将有多大影响，还不大明确，有待进一步做工作。

以上仅仅是我们在使用 $PLH-12$ 型接地距离装置中遇到的一些主要问题。由于我们水平很低，对于问题的分析和研究还是很肤浅的，甚至还有不少谬误，尤其是接地距离的正定计算，我们做得很粗糙。因此，希望同志们多予指导，以便更好地提高我们的运行水平。