

负序功率继电器的正确性判断

西安供电局 俞学溥 韩建立

七十年代中期负序功率继电器已落户西安电网，经过十余年的建设，超高压电网、大容量自耦变压器逼近古城郊外。反映不对称短路故障的负序功率方向保护逐渐增多，应用普遍。为了验证负序功率继电器的动作方向正确性，仍沿用规程及仅事故措施的精神，利用负荷电流、工作电压来模拟故障以检查负序功率继电器的动作行为。作为进一步核实包括负序功率继电器在内的全部接线的正确性。

一 负荷功率继电器的动作特性

负序功率继电器是按反映负序电压、负序电流及它们之间的余弦关系的继电器。其公式为：

$$M_{DZ} = K U_2 I_2 \cos(\varphi_P + \alpha)$$

其中 α 为继电器的内角(105°)

φ_P 为 U_2 、 I_2 间的夹角

当 $-\varphi_P$ (即 I_2 超前 U_2 的角度)等于 α 时，继电器输出最大。它的动作范围如图1所示。 I_2 越前 U_2 为 -15° 到 -195° 范围内为其动作区。 I_2 越前 U_2 为 -105° 时，具有最大正输出。

二 两相短路故障时负序电压与负序电流的相位关系

以B、C两相短路故障为例，故障点处的电流和电压相量如图2甲、乙所示。并认为非故障相的电流 $I_A = 0$ ， φ_K 为阻抗角，约为 75° 。

从图2乙中看出：

$$I_C^{(2)} = -I_B^{(2)} \text{ (“-” 号表示 } I_C^{(2)} \text{ 与 } I_B^{(2)} \text{ 相反)}$$

$$\text{故障点的 } U_B^{(2)} = U_C^{(2)}$$

$$\text{故障点的 } U_A^{(2)} = U_{AA}^{(2)}$$

$$U_{BCK} = 0$$

把上述电流、电压用对称分量法表示：

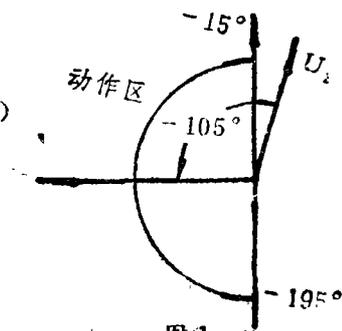
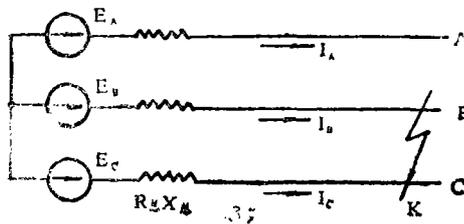


图1



(甲)

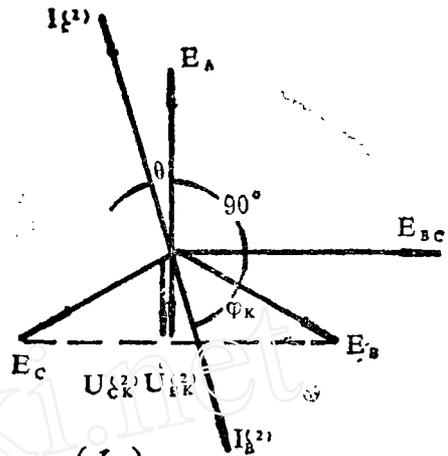


图 2

(乙)

$$I_{1A}^{(2)} = \frac{1}{3} [I_A + a I_B^{(2)} + a^2 I_C^{(2)}] = \frac{1}{3} [0 + (-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}) I_B^{(2)} + (-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}) (-I_B^{(2)})] = \frac{1}{3} [2 \cdot j\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_B^{(2)}] = j\frac{1}{\sqrt{3}} I_B^{(2)}$$

$$I_{2A}^{(2)} = \frac{1}{3} [I_A + a^2 I_B^{(2)} + a I_C^{(2)}] = -j\frac{1}{\sqrt{3}} I_B^{(2)}$$

$$\begin{aligned} U_{1AK}^{(2)} &= \frac{1}{3} [E_A + a U_{BK}^{(2)} + a^2 U_{CK}^{(2)}] \\ &= \frac{1}{3} [E_A + (-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}) U_{BK}^{(2)} + (-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}) U_{CK}^{(2)}] \\ &= \frac{1}{3} [E_A - U_{BK}^{(2)}] \\ &= \frac{1}{3} [E_A - 0.5 E_A] \\ &= \frac{1.5}{3} E_A = 0.5 E_A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{2AK}^{(2)} &= \frac{1}{3} [E_A + a^2 U_{BK}^{(2)} + a U_{CK}^{(2)}] \\ &= \frac{1.5}{3} E_A = 0.5 E_A \end{aligned}$$

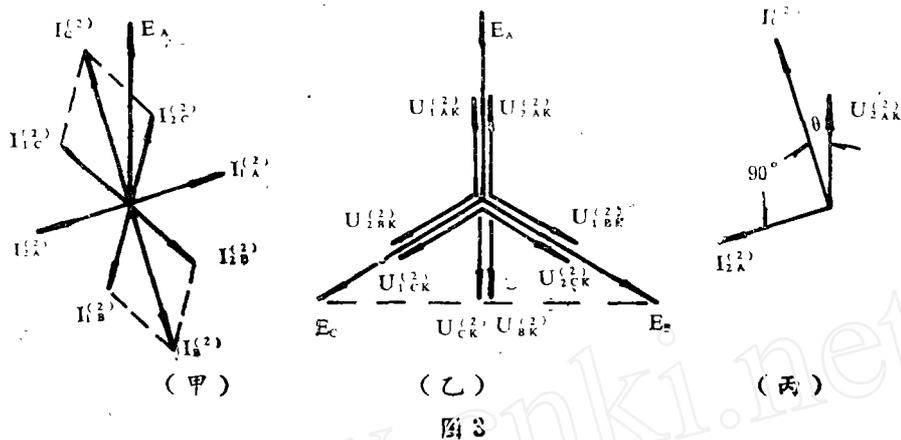
用对称分量表示的相量图如图 3 所示。则负序电流的绝对值:

$$I_{2A}^{(2)} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_C^{(2)}, \text{ 所以 } I_C^{(2)} = -I_B^{(2)} = \sqrt{3} I_{2A}^{(2)}$$

负序电压的绝对值:

$$U_{2AK}^{(2)} = \frac{1}{2} E_A = \frac{1}{3} U_{AK}^{(2)} = \frac{1}{3} U_{ABK}^{(2)}$$

设 φ_K 为 75° , 由图 3 丙中看出 E_A 与 I_C 间的夹角 $\theta = 180^\circ - \varphi_K - 90^\circ = 180^\circ - 75^\circ - 90^\circ = 15^\circ$ 。



把图 3 甲、乙中 $U_{AK}^{(2)}$ 与 $I_{AK}^{(2)}$ 合并在一起如图 3 丙所示, $I_{AK}^{(2)}$ 越前 $U_{AK}^{(2)}$ 的角度为:
 $\varphi = -(90^\circ + 15^\circ) = -105^\circ$

三 单相接地短路故障时负序电压和负序电流的相位关系

这里分析在大接地电流电网中, A 相单相接地短路故障时的情况。并认为非故障相电流 $I_B = 0$, $I_C = 0$, 故障点 K 处, 线路对地的电压为:

$$U_{AK}^{(1)} = 0; U_{BK}^{(1)} = E_B; U_{CK}^{(1)} = E_C$$

故障电流为 $I_A^{(1)}$

把上述电流、电压用对称分量法来表示:

$$I_A^{(1)} = \frac{1}{3} (I_A^{(1)} + a I_B^{(1)} + a^2 I_C^{(1)}) = \frac{1}{3} I_A^{(1)}$$

$$I_B^{(1)} = \frac{1}{3} (I_A^{(1)} + a^2 I_B^{(1)} + a I_C^{(1)}) = \frac{1}{3} I_A^{(1)}$$

$$I_C^{(1)} = \frac{1}{3} (I_A^{(1)} + I_B^{(1)} + I_C^{(1)}) = \frac{1}{3} I_A^{(1)}$$

$$U_{AK}^{(1)} = \frac{1}{3} [U_{AK}^{(1)} + a E_B + a^2 E_C]$$

$$= \frac{1}{3} [0 + (-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}) E_B + (-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}) E_C]$$

$$= \frac{1}{3} [-\frac{1}{2} (E_B + E_C) + j\frac{\sqrt{3}}{2} (E_B - E_C)]$$

$$= \frac{1}{3} [-\frac{1}{2} E_A + j^2 \frac{3}{2} E_A]$$

$$= \frac{1}{3} [\frac{1}{2} E_A + \frac{3}{2} E_A] = \frac{2}{3} E_A$$

$$U_{BK}^{(1)} = \frac{1}{3} [U_{BK}^{(1)} + (-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}) E_B + (-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}) E_C]$$

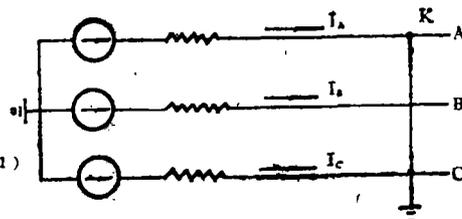


图 4

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{3} \left[0 + \left(-\frac{1}{2} \cdot -E_A \right) + j \frac{\sqrt{3}}{2} (E_C - E_B) \right] \\
&= \frac{1}{3} \left[\frac{1}{2} E_A + j \frac{\sqrt{3}}{2} E_A \right] = -\frac{1}{3} E_A \\
U_{\Delta k}^{(1)} &= \frac{1}{3} \left[U_{\Delta k}^{(1)} + U_{\Delta k}^{(1)} + U_{\Delta k}^{(1)} \right] \\
&= \frac{1}{3} \left[0 + E_B + E_C \right] = -\frac{1}{3} E_A
\end{aligned}$$

用对称分量表示的相量图如图 5 所示。则负序电流的绝对值：

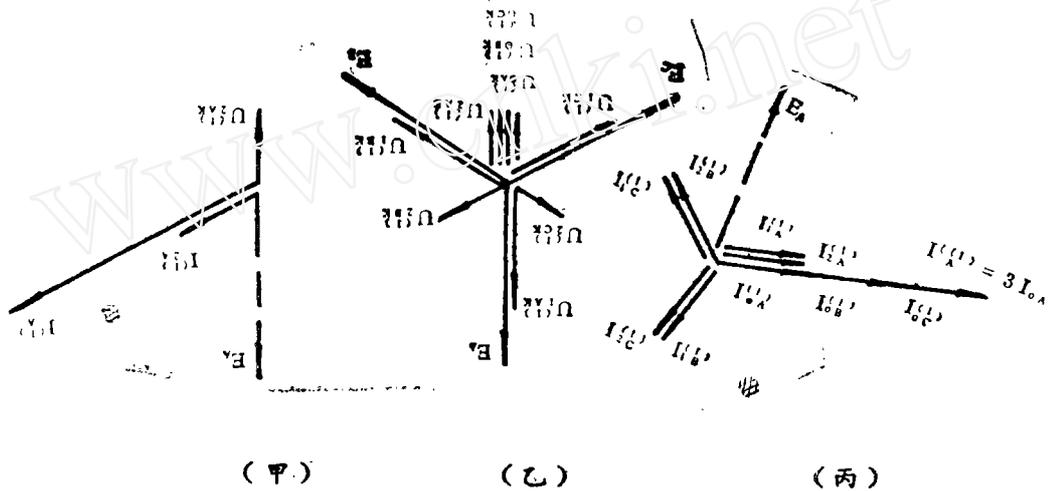


图 5

$$I_{\Delta k}^{(1)} = \frac{1}{3} I_{\Delta k}^{(1)}, \quad 3 I_{\Delta k}^{(1)} = I_{\Delta k}^{(1)}$$

$$U_{\Delta k}^{(1)} = \frac{1}{3} E_A$$

设 $\varphi_k = 75^\circ$ ，由图 5 丙中看出， $I_{\Delta k}^{(1)}$ 超前 $U_{\Delta k}^{(1)}$ 的角度

$$\varphi = - (180^\circ - 75^\circ) = -105^\circ$$

四 用工作电压和负荷电流判断负序功率继电器动作正确性的简捷方法

从上面两种不对称短路故障的分析中，得出负序电压与负序电流之间的夹角是一致的，都是 -105° 的关系。所以负序功率继电器的最大灵敏角也设计为 -105° 就是这个道理。

为了判断负序功率继电器动作正确性，通常用工作电压、负荷电流人为的获得负序电压、负序电流。其方法甚多。图 6 为断开一相电压和断开一相电流；图 7 为调换两相电压和断开一相电流；图 8 为调换两相电压和断开两相电流；图 9 为模拟两相接地短路

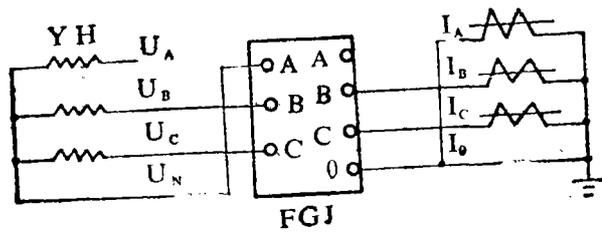


图 6

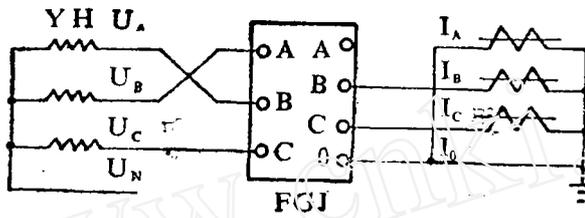


图 7

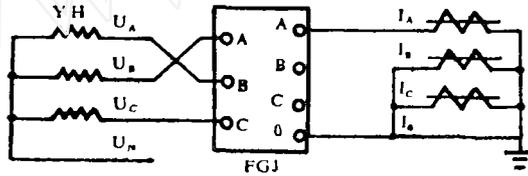


图 8

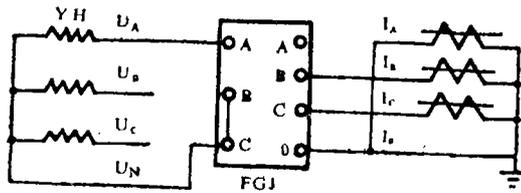


图 9

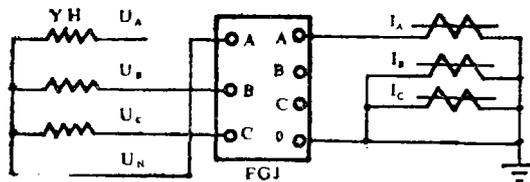


图 10

和断开一相电流，图10为断开一相电压和断开两相电流。均属人为的获得负序电压和负序电流来判断负序功率继电器的动作正确性。不过在现场工作测试时间紧迫，PT、CT二次线带电拆、接频繁，确定和核对负荷潮流的送授情况、相位角度，应用对称分量法找到同名相的 U_2 与 I_2 的位置及它们的夹角，来确定继电器是否应该动作。这不仅要求有丰富的现场工作经验，更需要有扎实的专业电工基础。否则很可能顾此失彼，忙中出错。从而作出错误的结论，直接影响到保护装置的动作正确性。

下面介绍的是我们利用大家所熟悉判断零序功率继电器的方法，扩展应用到判断负

序功率继电器的动作行为。很容易的、立即找到 U_2 及 I_2 的位置及 U_2 与 I_2 之间的夹角。

如图5中看出模拟任何一相接地短路故障，如A相故障，零序电压 $3U_0$ 与零序电流 $3I_0$ 的位置及 $3U_0$ 与 $3I_0$ 之间的夹角为大家所熟知。而负序电压 U_2 正好与零序电压 U_0 相一致；负序电流 I_2 正好与零序电流 I_0 相一致。

具体做法如图10所示。如模拟A相接地短路故障，去掉电压 U_A ，则其负序电压 U_{1A} 就在它的反方向上；短接 I_B 、 I_C 电流回零相。即 I_A 电流通入到A相线圈，代表A相故障电流， I_A 就代表着 I_{1A} 。以 U_{1A} 为基准，画出它的动作区，把 I_A 标入图上（即 I_{1A} ），立即可判断继电器是否应该动作。同理，短接 I_A 、 I_C 电流回零相，把 I_B 电流通入到A相线圈，代表A相故障电流， I_B 就代表着 I_{1A} ，标入图上，立即可判断继电器是否应该动作；再短接 I_A 、 I_B 电流回零相，把 I_C 电流通入到A相线圈，代表A相故障电流， I_C 就代表着 I_{1A} ，标入图上，立即可判断继电器是否应该动作。如图11所示。

模拟B相或C相接地短路故障，分别去掉电压 U_B 或 U_C ，即可找到其负序电压 U_2 就在它的反方向上。以 U_2 为基准，画出它的动作区，然后，三相电流 I_A 、 I_B 、 I_C 分别通入到B相线圈或C相线圈，代表B相或C相的故障电流（即 I_2 ），标入图上，即可判断继电器是否应该动作。

例：负序功率继电器动作方向指向线路，负荷潮流由线路指向变压器，负荷角 $\varphi^L = 204^\circ$ ，断开A相电压， I_A 通入A相线圈，继电器不动； I_B 通入A相线圈，继电器不动； I_C 通入A相线圈，继电器动作。其相量图如图12所示。继电器动作情况与图中所示结果一致。

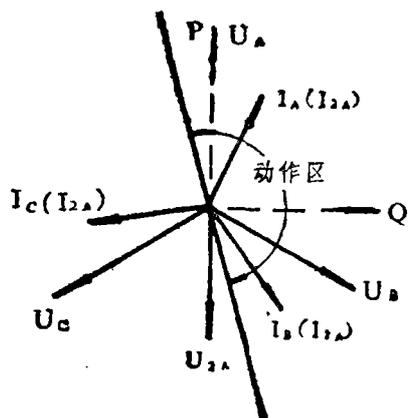


图11

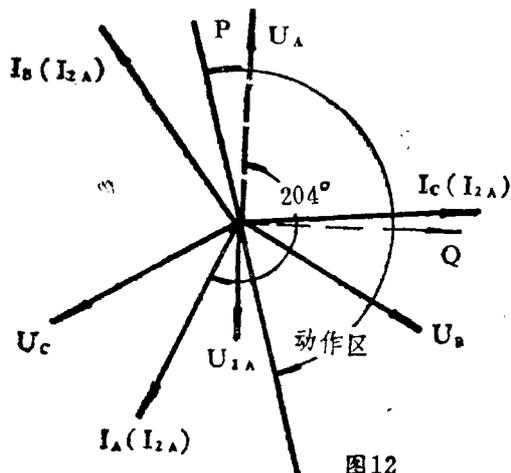


图12

五 结 束 语

用工作电压、负荷电流检查负序功率继电器的动作正确性，在诸多试验方法中，以模拟单相接地短路故障（如图10所示）接线比较简单，再加上运用判断零序功率继电器的特点，很容易找到 U_2 与 I_2 的位置，为正确判断负序功率继电器的行为带来方便。

参考文献

1. 负序功率继电器接线正确性试验方法 《电力技术》1982. 7期
2. 用负荷电流、电压检查负序功率继电器的方向性 《继电器》1976. 4期