

# 接地方向阻抗继电器动作特性的几点分析

水利电力部华东电力设计院 俞鸣元

## 前 言

东北电力系统 500KV 高频闭锁距离保护装置的动态模拟试验,发现了以前不为大家所注意的一些问题,如接地方向阻抗元件在反方向出口故障时可能误动作等。对于这些问题,东北电力设计院和南京自动化研究所都曾作过许多分析、计算、试验。在兄弟单位辛勤劳动的基础上,我们结合华东系统 500KV 输变电工程的具体参数,针对正方向出口单相接地故障、反方向出口两相不接地与接地故障三种情况作了一些分析计算,以期对在华东 500KV 系统中使用接地方向阻抗元件的认识有所提高。一孔之见,难免有不当之处,请兄弟单位指正。

## 一、计算方法与条件

对于以双侧电源来模拟的特定输电系统,在线路的给定点,发生某种形式的故障时,阻抗继电器的感受阻抗可以用两侧电势比的绝对值  $KE = \left| \frac{EM}{EN} \right|$ , 与相角差  $\delta$  为变量的两组圆图来表示。当  $KE$  为某一固定值而  $\delta$  变化时,感受阻抗的轨迹是一个圆,当  $\delta$  为某一固定值而  $KE$  变化时,感受阻抗的轨迹是与上述圆相正交的另一个圆。这两个圆的交点就是  $\frac{EM}{EN} = KE \angle \delta$  时阻抗元件的感受阻抗。这两组圆图的计算与绘制方法在参考资料中有详细介绍,不再赘述。

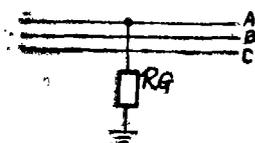
为了分析在两侧电势比值与相角差变化时阻抗元件的动作情况,可将阻抗元件的动作特性与感受阻抗圆图画在一起作比较,当感受阻抗落在动作特性圆内时,阻抗元件动作。

针对相同的结线、参数还采用故障分量与负荷分量相迭加的方法,计算了在某些故障情况下的感受阻抗以校核所绘制的感受阻抗圆图。

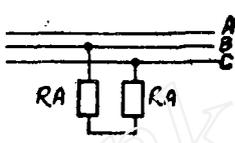
计算用的网络图所示:



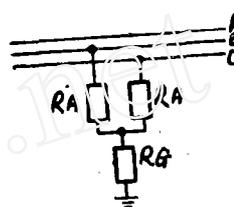
$$\begin{aligned}
 Z_{1M} &= 3 + j57 & Z_{1L} &= 4.8 + j67.2 & Z_{1N} &= 26 + j58 \\
 Z_{2M} &= 0.3 + j53 & Z_{2L} &= 4.8 + j67.2 & Z_{2N} &= 0.8 + j34 \\
 Z_{0M} &= 0.3 + j37 & Z_{0L} &= 41.2 + j154 & Z_{0N} &= 8 + j86
 \end{aligned}$$



单相接地故障



两相不接地故障



两相接地故障

图中所标数据是华东 500KV 系统中一条 240 公里线路的参数。阻抗是欧姆值，电源阻抗是由发电机的次暂态电抗归并得到的。N 侧是受电端，其电源阻抗计及了受端系统的负荷，负荷部份的负序阻抗为其正序阻抗的 35%。

感受阻抗圆图法与迭加法所采用的系统运行情况的表示方式不一样，前者以两侧电势的比值  $K E / \delta$  来表示，而后者以故障前线路输送功率  $P + jQ$  来表示，但两者是相对应的。迭加法选定故障前故障点的电压为基准值，线路输送功率也是故障前通过故障处的功率，由于故障点是在正向出口或反向出口，这一电压实际上就是保护安装处的母线电压。

感受阻抗圆图能清楚地表示出阻抗元件感受阻抗随两侧电势比值而变化的情况。为了便于大致了解感受阻抗与线路输送功率之间的关系，表一列出了在选定的计算网络中，输送功率与两侧电势比值的的关系。

根据系统动态稳定计算结果，这一条线路在采取提高稳定的措施以后，单相永久性故障的输送功率极限是 64 万千瓦。在进行动稳定计算时考虑了 220KV 的旁路连系，而在本分析中略去了这一连系。

由于电源阻抗采用了次暂态电抗，其数值较小，所以两侧电势比值与相角差的数值并不大。

一般认为两侧电势差的绝对值决定无功功率的幅值，而其相角差决定有功功率。但由于网络中各阻抗上的有功与无功损耗，通过各点的输送功率并不相同，尤其在输送功率很大时相差更大。

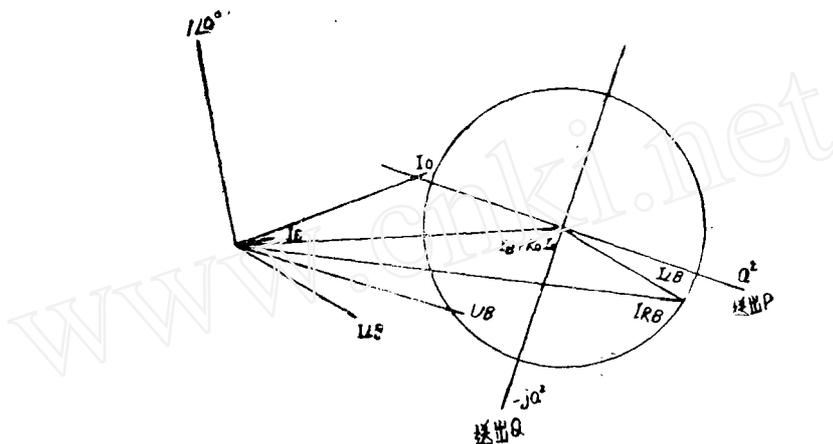
表一中 M 侧输送功率是以 M 侧母线电压为基准值 ( $525/\sqrt{3} \angle 0^\circ$  KV) 时的数据，而 N 侧输送功率则是以 N 侧母线电压为基准值时的数据。由于两者基准不同，其差值并非线路损耗。

表一：输送功率(万千瓦)与两侧电势比值的关系(母线向线路输出功率为正，受进功率为负，送出无功为正，受进无功为负)

$\delta$	K 侧			M 侧			N 侧		
	0.8	1.0	1.2	0.8	1.0	1.2	0.8	1.0	1.2
$-90^\circ$	$-304.3 + j118.3$	$-248.6 + j164.2$	$-204.6 + j189.1$	$276.9 + j121.4$	$323.5 + j63.9$	$355.8 + j0.2$			
$-60^\circ$	$-187.1 + j29.9$	$-160.4 + j70.7$	$-137.5 + j98.1$	$170.5 + j50.9$	$185.2 + j4.8$	$192.6 - j38.6$			
$-30^\circ$	$-91.1 - j12.8$	$-77.6 + j23.1$	$-65.8 + j49.4$	$80.9 + j29.3$	$82.6 - j7.5$	$81.4 - j40.0$			
$0^\circ$	$-6.0 - j34.0$	0	$4.9 + j25.6$	$5.3 + j31.4$	0	$-5.5 - j27.3$			
$30^\circ$	$77.5 - j41.5$	$77.4 - j6.3$	$79.5 + j2.02$	$-62.3 + j49.4$	$-73.4 + j20.2$	$-82.7 - j5.4$			
$60^\circ$	$168.3 - j35.2$	$160.4 + j4.5$	$152.2 + j33.6$	$-129.5 + j83.2$	$-144.9 + j54.2$	$-159.5 + j27.7$			
$90^\circ$	$278.1 - j6.7$	$255.6 + j41.9$	$234.9 + j74.7$	$-189.3 + j139.7$	$-220.2 + j109.9$	$-244.7 + j80.1$			

## 二、正方向单相接地故障时，非故障相接地方向 阻抗元件的动作特性

### 1. A相故障，B相方向阻抗元件的向量图（附图1）



$$\begin{aligned}
 M \text{ 侧: } R_G &= 5 \Omega & U_B &= 283.227 \angle 242.468^\circ \text{KV} \\
 I_B &= 0.48 \angle 271.511^\circ \text{KA} & K_0 &= 1.397 \angle -18.665^\circ \\
 I_0 &= 2.431 \angle 279.830^\circ \text{KA} \\
 I_{LB} &= 1.683 \angle 228.690^\circ \text{KA} & P + jQ &= 1500 + j300 \text{MV A} \\
 I_{RB} &= 5.351 \angle 252.377^\circ \text{KA} & E_M / E_N &= 1.179 \angle 58.831^\circ
 \end{aligned}$$

附图1：正向A相接地，B相元件向量图。

为了使各向量间的相对关系能比较地符合实际情况，附图1按M侧出口径5欧电阻单相接地时的计算结果绘制。

接入B相元件的电流： $I_{RB} = I_B + K_0 I_0 + I_{LB}$

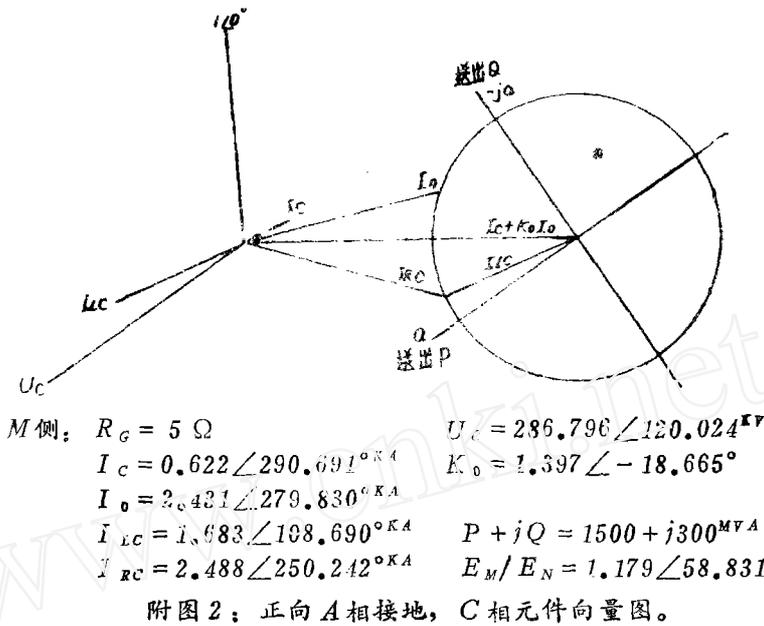
其中  $I_B$ ：B相电流故障分量

$K_0 I_0$ ：经过补偿的零序电流， $K_0 = \frac{Z_0 L - Z_1 L}{Z_1 L}$

$I_{LB}$ ：故障前B相负荷电流

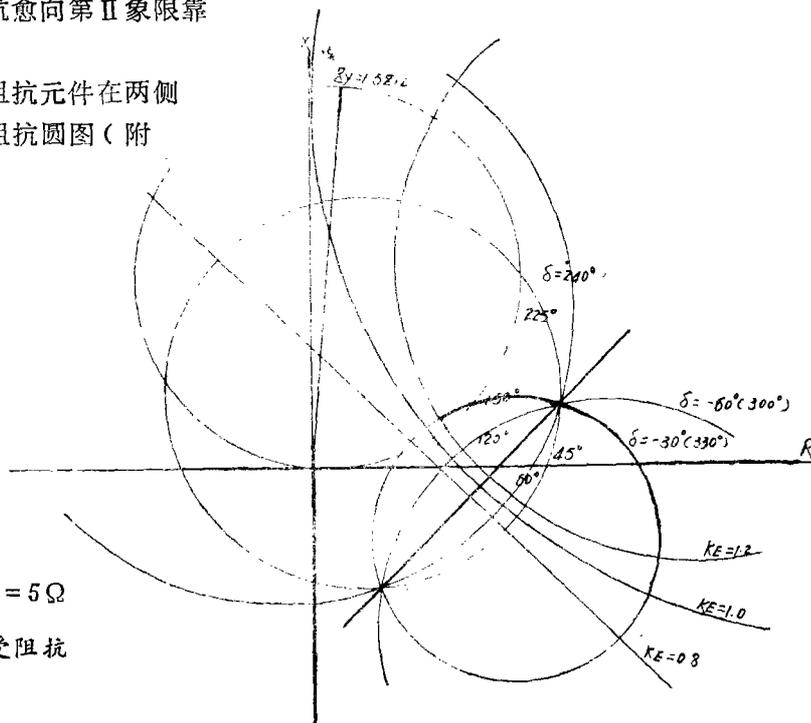
负荷电流变化时，向量  $I_{RB}$  的轨迹，是以向量  $I_B + K_0 I_0$  的端点  $O'$  为圆心的一个圆。对于送电端，当功率因数不变，而负荷电流增加时， $I_{RB}$  的幅值增大，感受阻抗的幅值减小，对于附图1所示情况， $I_{RB}$  的幅值虽然增大了，但其领先母线电压  $U_B$  的相角却减小了，继电器电流仍领先继电器电压感受阻抗在第IV象限，阻抗元件不致误动。仅在送出很大无功时，感受阻抗才会移入第I象限，导致误动作。接地电阻愈大， $I_B + K_0 I_0$  愈向领先电压的方向变化，感受阻抗进入第IV象限愈深，愈不会误动。

### 2. A相故障，C相方向阻抗元件的向量图（附图2）

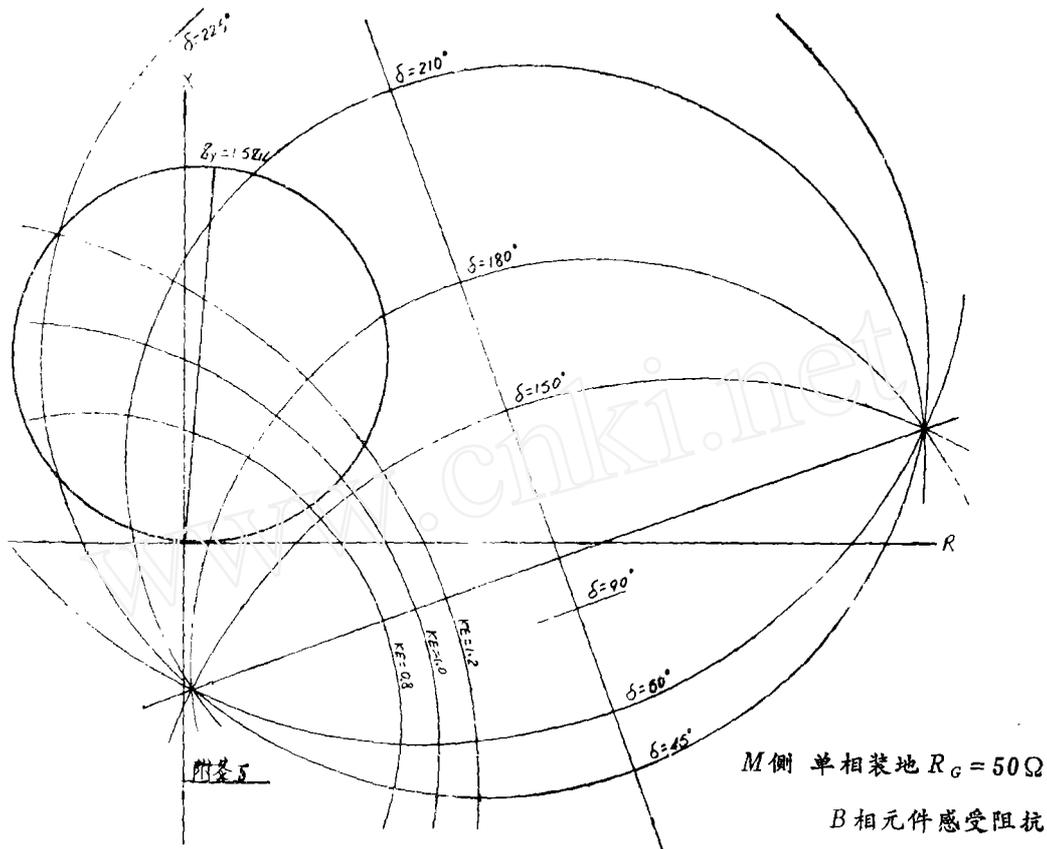


继电器电流  $I_{RC}$  一般领先继电器电压  $U_C$  约  $120^\circ$ , 感受阻抗在第三象限, 不致误动作。受进有功将使  $I_{RC}$  幅值增大, 而只有送出很大无功时才会使  $I_{RC}$  领先  $U_C$  的相位角增大至大于  $180^\circ$ , C 相元件才有可能误动。接地电阻愈大,  $I_C + K_0 I_0$  愈向领先电压方向变化, 感受阻抗愈向第二象限靠近, 误动趋势增大。

3. B 相方向阻抗元件在两侧电势变化时的感受阻抗圆图 (附图 5、6)

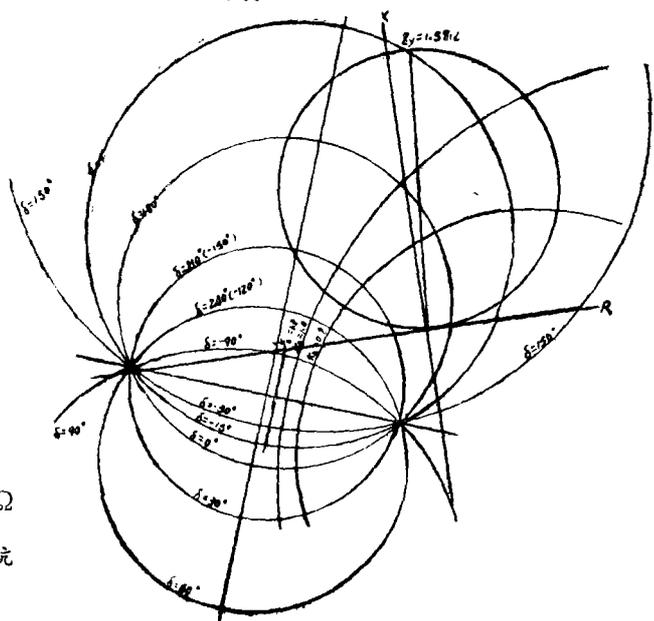


附图 5  
M 侧 单相接地  $R_G = 5 \Omega$   
B 相元件感受阻抗



整定阻抗  $Z_L$  为  $1.5 Z_1 L$ ,  $K_E$  在  $0.8$  至  $1.2$  之间;  
 $R_G = 5$  欧;  $\delta$  约在  $140^\circ$  至  $235^\circ$  ( $-125^\circ$ ) 之间时,  $B$  相元件才可能误动。  
 $R_G = 50$  欧;  $\delta$  约在  $155^\circ$  至  $230^\circ$  ( $-130^\circ$ ) 之间时,  $B$  相元件才可能误动。

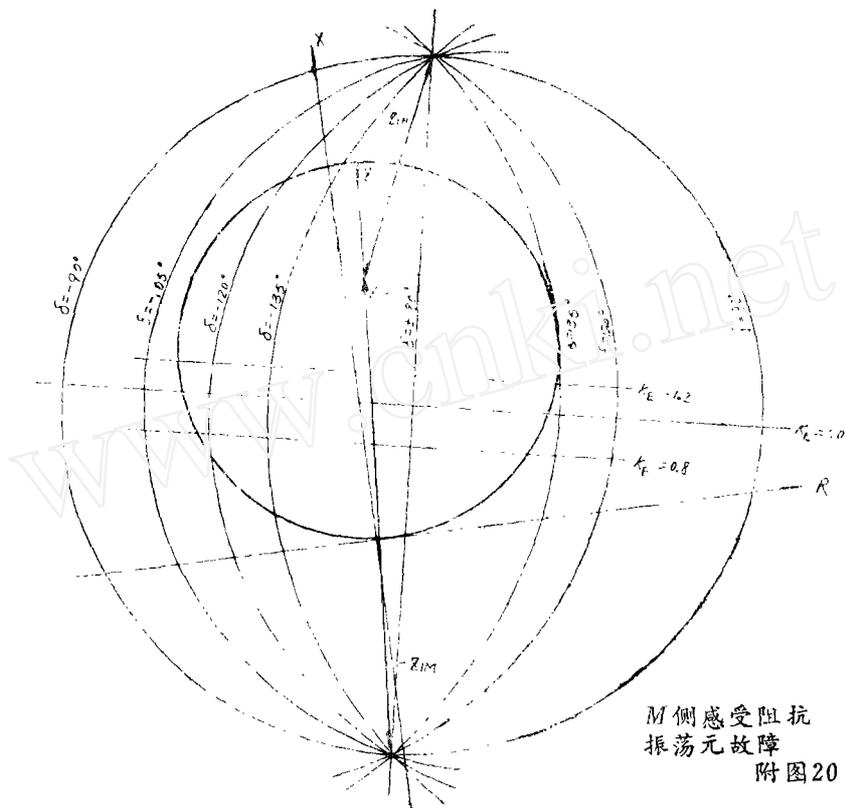
4.  $C$  相方向阻抗元件在两侧电势变化时的感受阻抗圆图(附图 7)



附图 7  
 $M$  侧 单相接地  $R_G = 5 \Omega$   
 $C$  相元件感受阻抗

$R_G = 5$  欧，整定阻抗  $Z_Y$  为  $1.5 Z_1 L$ ， $K_E$  在  $0.8$  至  $1.2$  之间； $\delta$  约在  $160^\circ$  至  $225^\circ$  ( $-135^\circ$ ) 之间时， $C$  相元件才可能误动。

5. 振荡无故障时，方向阻抗元件的感受阻抗圆图（附图20）



结合上述 3，4 两节所述情况与附图20，列出  $M$  侧方向阻抗元件在系统振荡无故障与  $A$  相在出口经 5 欧电阻接地时的动作条件如下：

- |                    |   |
|--------------------|---|
| $K_E = 1.2$ ；振荡无故障 | $137^\circ < \delta < 218^\circ$ ( $-112^\circ$ ) |
| 故障时 $B$ 相元件        | $142^\circ < \delta < 235^\circ$ ( $-125^\circ$ ) |
| 故障时 $C$ 相元件        | $167^\circ < \delta < 221^\circ$ ( $-139^\circ$ ) |
| $K_E = 0.8$ ；振荡无故障 | $111^\circ < \delta < 244^\circ$ ( $-116^\circ$ ) |
| 故障时 $B$ 相元件        | $148^\circ < \delta < 231^\circ$ ( $-129^\circ$ ) |
| 故障时 $C$ 相元件        | $159^\circ < \delta < 226^\circ$ ( $-134^\circ$ ) |

从上述结果可见，在出口单相接地时，非故障相的方向阻抗元件仅在两侧电势的相角差很大时才有可能动作；而当两侧电势的相角差达到这样大的数值时，即使没有故障，很可能方向阻抗元件已经动作。

6. 非故障相记忆方向阻抗元件的动作特性

对于没有记忆作用的方向阻抗元件的动作特性，可采用以坐标原点与整定阻抗末端的连线为直径的圆来表示，但对于具有记忆作用的方向阻抗元件，应如何在感受阻抗圆

图上来判断其动作情况呢？

故障前，当输送功率不为零时，B相母线电压是： $U_B^{(-)} = a^2 (E_1 - I_L Z_{1M})$

故障时，考虑输送功率的影响，B相母线电压是：

$$\begin{aligned} U_B^{(+)} &= a^2 U_1 + a U_2 + U_0 \\ &= a^2 [E_1 - (I_1 + I_L) Z_{1M}] - a^2 I_2 Z_{2M} - I_0 Z_{0M} \\ &= a^2 (E_1 - I_L Z_{1M}) - (a^2 I_1 Z_{1M} + a I_2 Z_{2M} + I_0 Z_{0M}) \end{aligned}$$

如  $I_1 = I_2$ ,  $Z_{1M} = Z_{2M}$  则：

$$\begin{aligned} U_B^{(+)} &= a^2 (E_1 - I_L Z_{1M}) + I_1 Z_{1M} - I_0 Z_{0M} \\ &= U_B^{(-)} + I_1 Z_{1M} - I_0 Z_{0M} \end{aligned}$$

考虑到是出口故障： $I_1 Z_{1M} = I_{1K} Z_{1\Sigma}$ ,  $I_0 Z_{0M} = I_{0K} Z_{0\Sigma}$

$$U_B^{(+)} = U_B^{(-)} + I_{1K} (Z_{1\Sigma} - Z_{0\Sigma})$$

式中  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_0$ ：流经保护安装处的电流的故障分量

$I_L$ ：A相负荷电流

$E_1$ ：保护安装侧，A相电源电势

$Z_{1M}$ ,  $Z_{2M}$ ,  $Z_{0M}$ ：保护安装侧电源阻抗

$I_{1K}$ ：短路点正序故障电流， $I_{1K} = I_{2K} = I_{0K}$

$Z_{1\Sigma}$ ,  $Z_{0\Sigma}$ ：正序零序网络对故障点的综合阻抗

上述关系式适用于双侧电源网络，也适用于具有接地电阻的情况。

如网络中各阻抗的阻抗角大致相同，且接地电阻的数值相对地不很大，则  $I_{1K} (Z_{1\Sigma} - Z_{0\Sigma})$  的相位与  $U_B^{(-)}$  的相位相差约  $120^\circ$ 。可见故障前后非故障相母线电压的相位变化是不大的。对于所选用的算例，列出结果于表二。计算中取故障点故障前的电压为基准值，故对于出口故障， $U_B^{(-)}$  的相位是  $240^\circ$ ， $U_C^{(-)}$  的相位是  $120^\circ$ 。

表二

		$U_B^{(-)}$ 相位	$U_B^{(+)}$ 相 位	B 相 相 位 变 化	$U_C^{(-)}$ 相位	$U_C^{(+)}$ 相 位	C 相 相 位 变 化
M 侧	$R_G = 0$	$240^\circ$	$243.043^\circ$	$3.043^\circ$	$120^\circ$	$120.482^\circ$	$0.482^\circ$
	$R_G = 5$ 欧	$240^\circ$	$242.468^\circ$	$2.468^\circ$	$120^\circ$	$120.024^\circ$	$0.024^\circ$
	$R_G = 50$ 欧	$240^\circ$	$239.387^\circ$	$-0.613^\circ$	$120^\circ$	$118.742^\circ$	$-1.258^\circ$
N 侧	$R_G = 0$	$240^\circ$	$231.294^\circ$	$-8.706^\circ$	$120^\circ$	$136.260^\circ$	$16.260^\circ$
	$R_G = 5$ 欧	$240^\circ$	$230.886^\circ$	$-9.114^\circ$	$120^\circ$	$136.147^\circ$	$16.147^\circ$

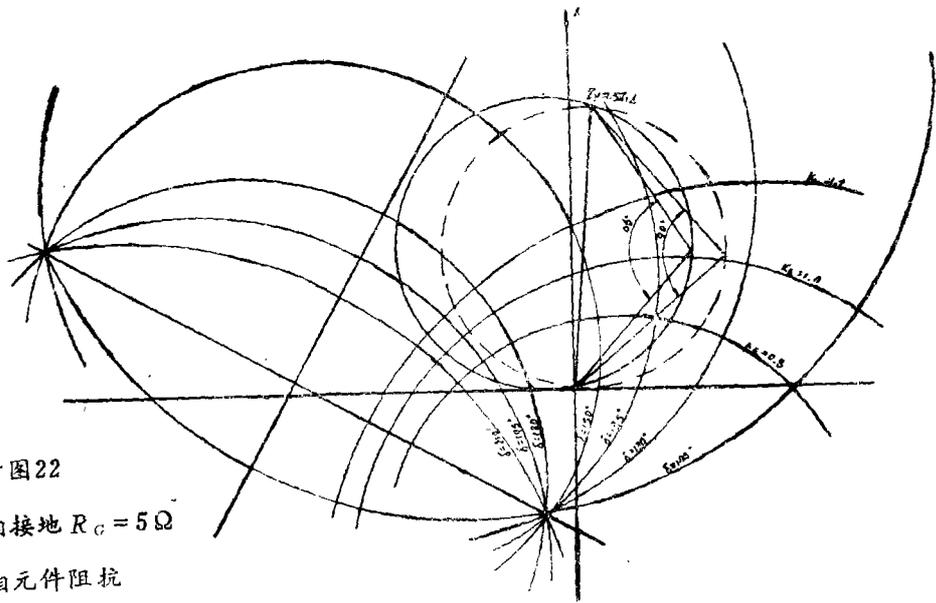
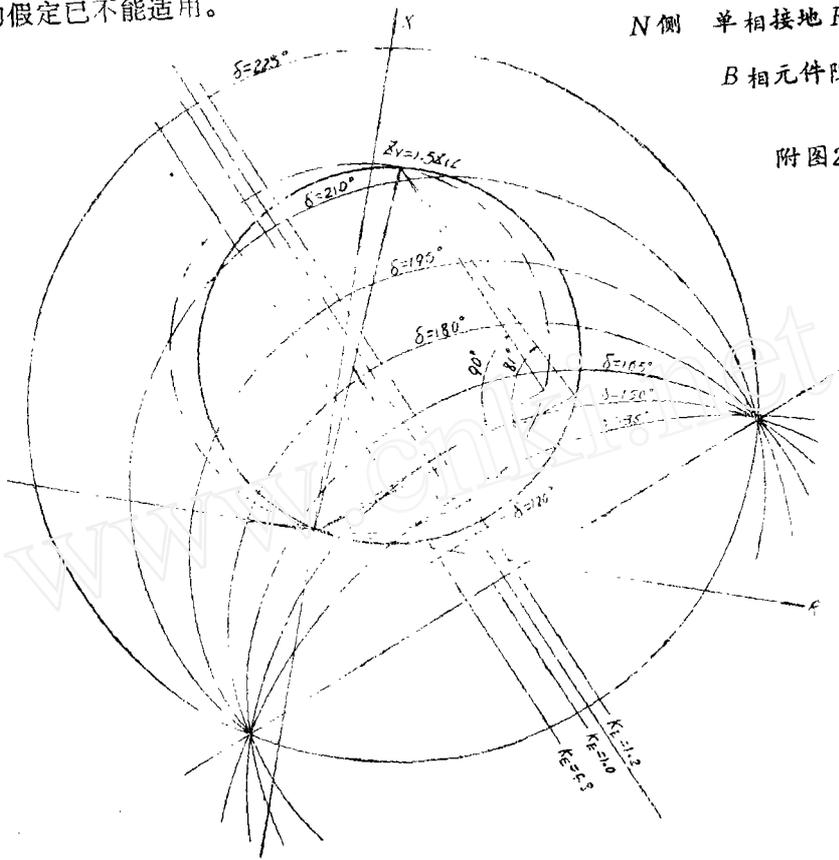
N侧非故障相电压的相位变化较大，但N侧有一特点，即由于计入了受端系统巨额负荷的影响，其电源的正序阻抗与负序阻抗相差很大，分别为  $26 + j 58$  与  $0.8 + j 34$ 。

$I_1 = I_2$  的假定已不能适用。

N 侧 单相接地  $R_G = 5 \Omega$

B 相元件阻抗

附图 21



附图 22

N 侧单相接地  $R_G = 5 \Omega$

C 相元件阻抗

附图21, 22画出了N侧A相正方向出口经5欧电阻接地时, B相与C相阻抗元件的感受阻抗。图中用实线表示的动作性圆考虑了故障前后母线电压的相位变化, 即具有记忆作用; 用虚线表示的特性圆未考虑这一相位变化, 即没有记忆作用。从图中查出了 $K_B = 1.2$ 时的阻抗元件动作范围。同时也根据方向阻抗元件的动作判据计算了这一数值, 均列于表三, 以作比较。

表三

		有记忆(不考虑电压相位变化)	无记忆(考虑电压相位变化)
B相	作图法	$123^\circ < \delta < 212^\circ$	$132^\circ < \delta < 214^\circ$
元件	计算法	$124^\circ < \delta < 212.5^\circ$	$133^\circ < \delta < 214.5^\circ$
C相	作图法	$130^\circ < \delta < 205^\circ$	$126^\circ < \delta < 190^\circ$
元件	计算法	$130^\circ < \delta < 205^\circ$	$126^\circ < \delta < 189^\circ$

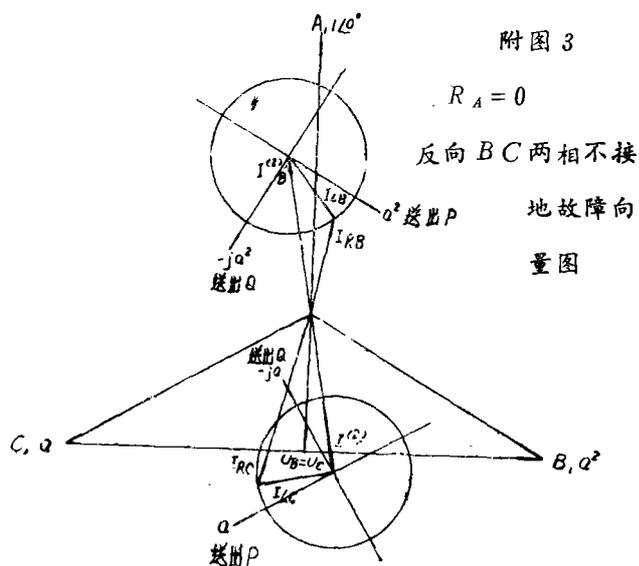
表三所列的结果指出, 即使故障前后母线电压的相位变化达到 $9^\circ$ 与 $16^\circ$ , 但对阻抗元件的动作并无决定性影响, 均能可靠地不动作。

本节的前面已指出非故障相母线电压在故障前后的相位变化与短路电流的故障分量有关, 这一分量与故障前母线电压的数值有关, 而系统振荡时母线电压却随两侧电势的相对摆动而变化, 短路电流故障分量与母线电压的相位也将随着变化, 因此附图21, 22把感受阻抗与一个固定不变的具有记忆作用的动作特性圆画在一起是不恰当的。实际上, 在两侧电势的相角差增大时, 母线电压将降低, 故障前后母线电压相位的变化将减小, 动作特性圆将介于实线与虚线的两圆之间。因此, 仍然采用以虚线表示的, 不考虑记忆作用的特性圆来判断具有记忆作用的方向阻抗元件的动作情况, 似乎还是一种误差不大的实用方法

### 三、反方向出口两相不接地故障时, 接地方向阻抗元件的动作特性

1. BC两相故障, 方向阻抗元件向量图(附图3)

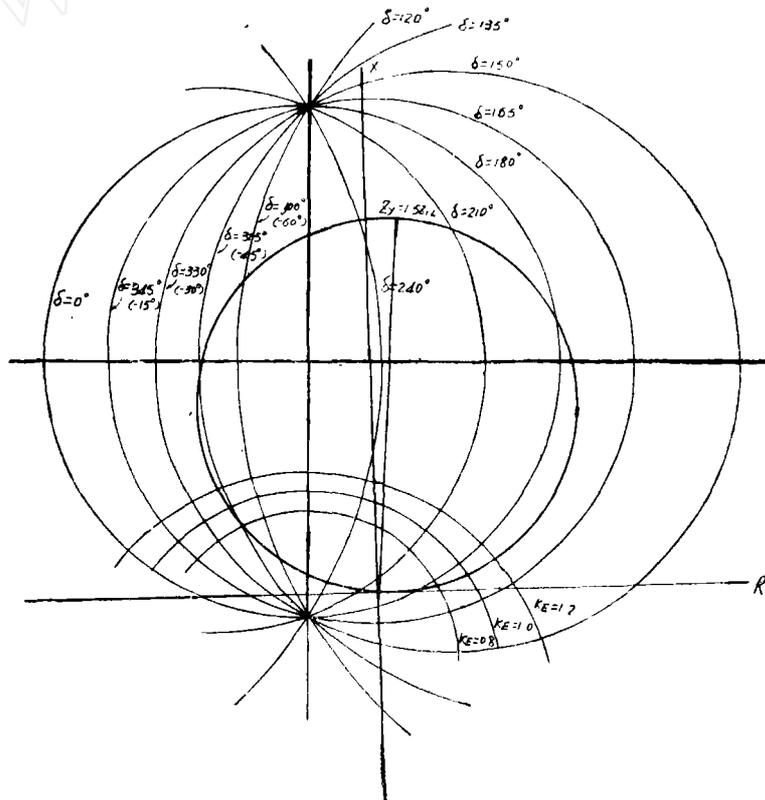
为了作图清晰, 便于观看, 向量图未按计算结果绘制。



从附图 3 可见, 对于 C 相元件, 故障电流与残余电压的相位相当接近, 在送电端, 感受阻抗即将进入第 I 象限, 在送出有功受进无功时相位最为不利, 但由于残余电压较高, 必需输送功率相当大时才会误动。电弧电阻的影响是使故障电流向更领先电压的方向偏转, 即感受阻抗向第 IV 象限偏转, 误动可能减小。

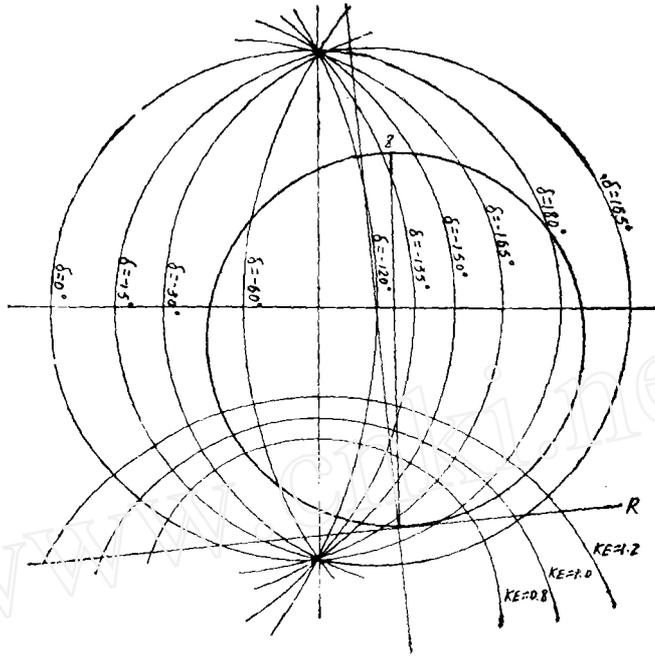
对于 B 相元件, 感受阻抗在第 II 象限, 在受电端感受阻抗的幅值降低, 受进较大的有功时, 感受阻抗的相位自第 II 象限转向第 I 象限, 误动趋势增大, 如受进有功送出无功, 则误动可能更大。电弧电阻增大的影响是使处于第 II 象限的感受阻抗的相位角减小, 误动可能性增大。

2. 方向阻抗元件在两侧电势变化时的感受阻抗圆图 (附图 8、9、10) M 侧, 整定阻抗  $Z_1$  为  $1.5 Z_1 L$ ;

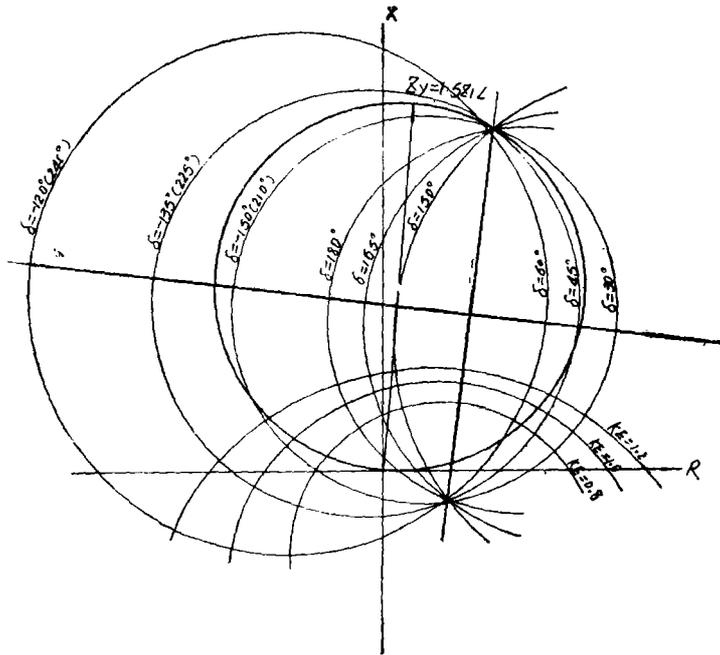


M 侧 两相短路  $R_A = 0$  B 相元件感受阻抗

附图 8



M侧 两相短路  $R_A = 3 \Omega$  B相感受阻抗  
附图9



M侧 两相短路  $R_A = 0$  C相元件感受阻抗  
附图10

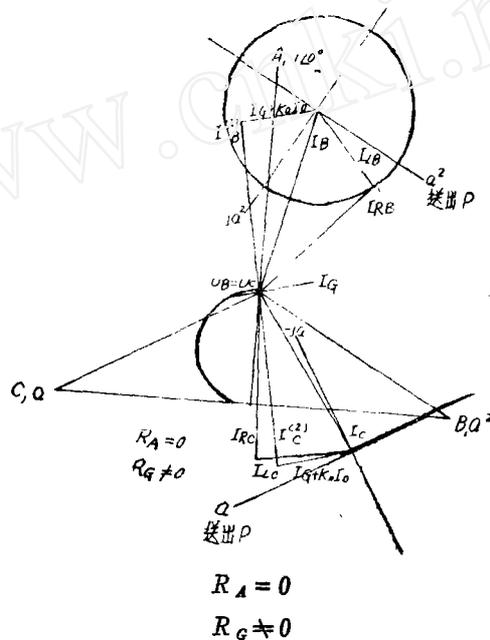
B相  $\delta$  约在 $175^\circ$ 至 $317^\circ$  ( $-43^\circ$ )之间时, B相元件可能动作。

C相  $\delta$  约在 $43^\circ$ 至 $215^\circ$  ( $-145^\circ$ )之间时, C相元件可能动作。

由于电弧电阻与系统阻抗相比数值较小, 对短路电流的幅值与相位影响不大, 故对阻抗元件的动作情况影响不大。

#### 四、反方向出口两相接地故障时, 接地方向阻抗元件的动作特性

##### 1. BC两相接地故障, 方向阻抗元件向量图(附图4)



附图4: 反向两相接地故障向量图

两相接地故障时的故障电流, 一般认为是在两相不接地故障的基础上迭加接地故障附加分量与负荷电流, (考虑接地电阻 $R_{G1}$ 略去电弧电阻 $R_A$ )

$$I_B = I_B^{(2)} + I_G + I_{LB}$$

$$I_C = I_C^{(2)} + I_G + I_{LC}$$

接入继电器的电流还得再加上 $K_0 I_0$

$$I_{RB} = I_B + K_0 I_0 = I_B^{(2)} + I_G + K_0 I_0 + I_{LB}$$

$$I_{RC} = I_C + K_0 I_0 = I_C^{(2)} + I_G + K_0 I_0 + I_{LC}$$

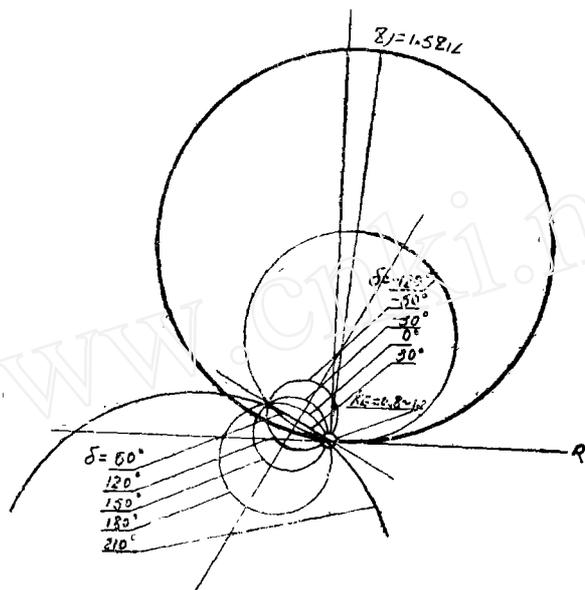
残余电压为接地故障附加电流分量在接地电阻上的电压降。

从附图4可见, 在反方向经电阻接地时, 即使不考虑线路输送功率,  $I_{RB}$ 滞后 $U_B$ 的相位在 $90^\circ$ 附近, B相元件很可能误动, 尤其在接地电阻不大时, 相位关系更为不利。

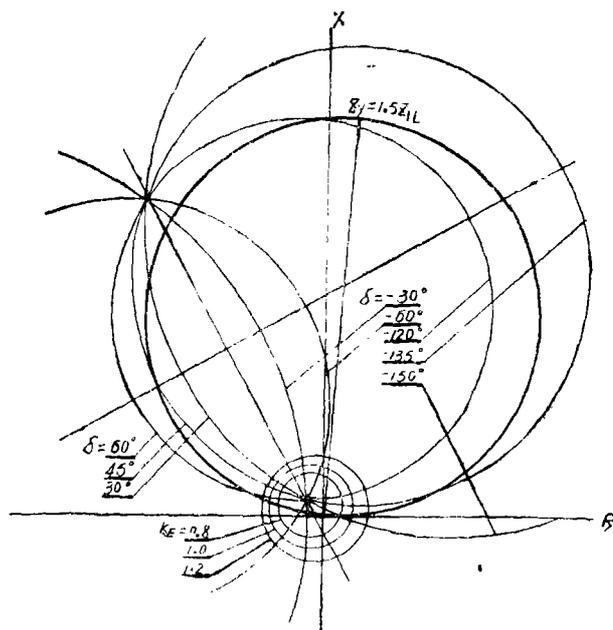
在图中还可看到，受端的B相元件误动可能性更大。

对于C相元件，感受阻抗在Ⅱ—Ⅳ象限，一般不致误动，仅在接地电阻甚大且送出有功甚大时才有可能误动。

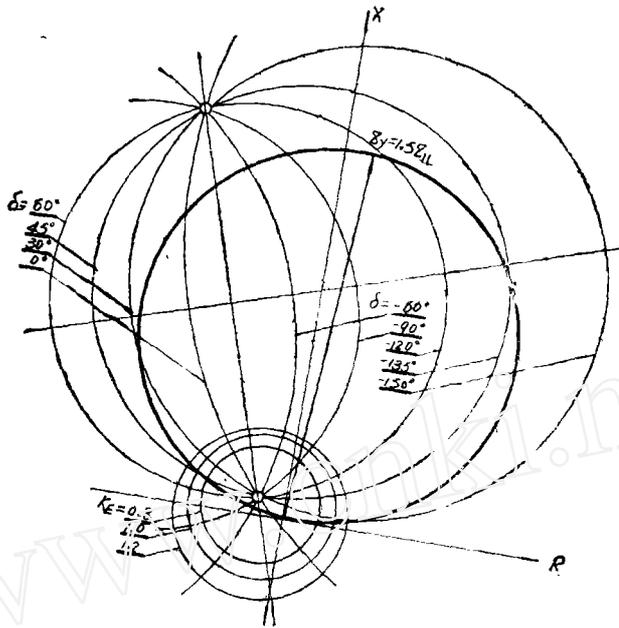
2. 方向阻抗元件在两侧电势变化时的感受阻抗圆图 附图11—18



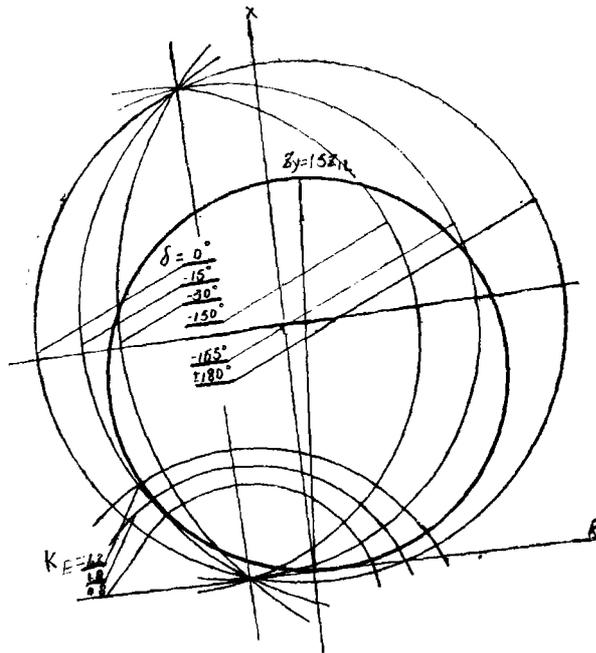
附图11 M侧 两相接地  $R_G = 0.5 \Omega$   $R_A = 0$  B相感受阻抗



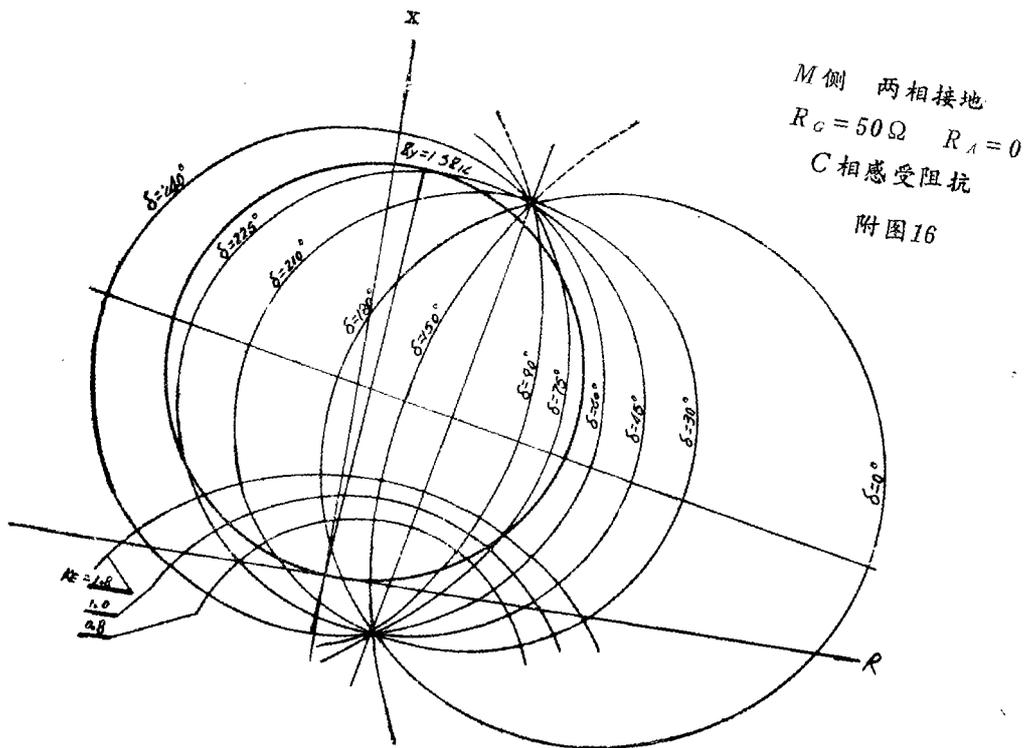
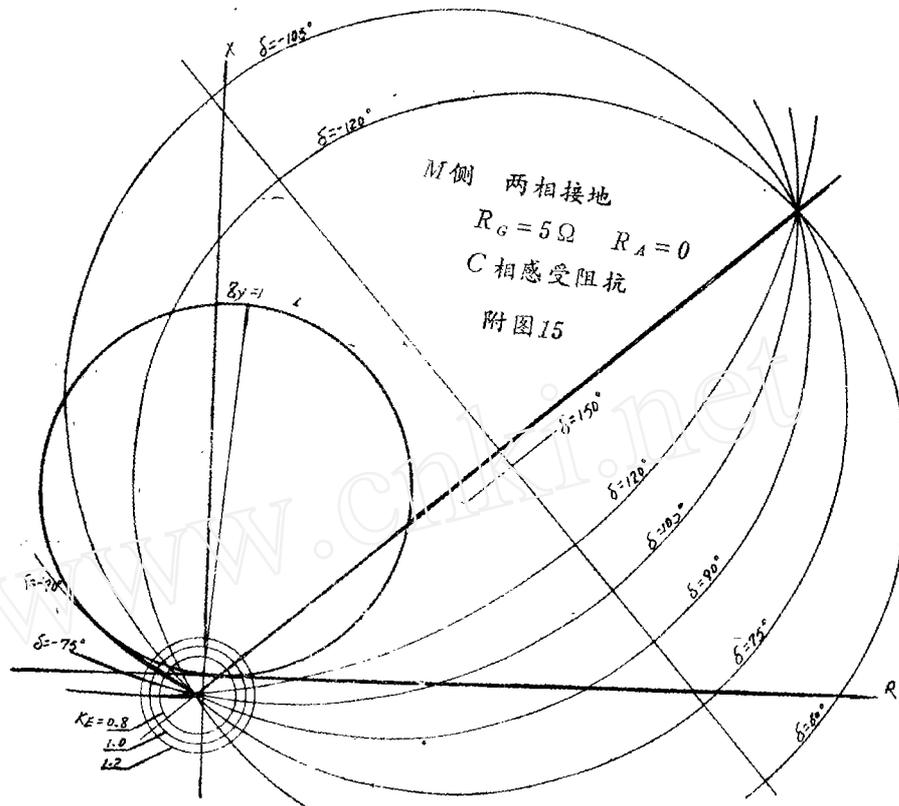
附图12 M侧 两相接地  $R_G = 5 \Omega$   $R_A = 0$  B相感受阻抗

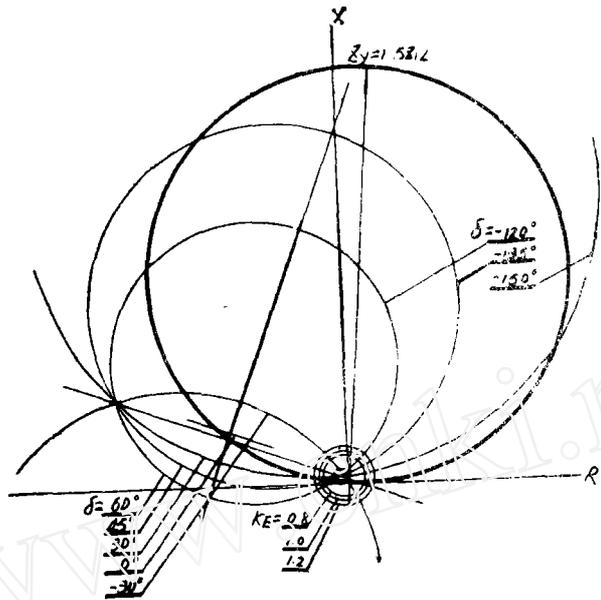


M 侧 两相接地  $R_C = 10 \Omega$   $R_A = 0$  B 相感受阻抗  
附图 13



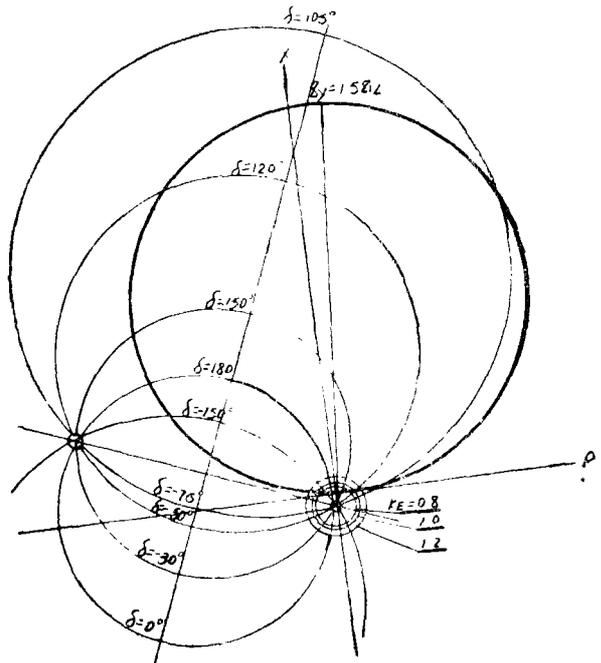
M 侧 两相接地  $R_C = 50 \Omega$   $R_A = 0$  B 相感受阻抗  
附图 14





N側 兩相接地  $K_E \angle \delta = \frac{E_N}{E_M}$   $R_G = 5\Omega$   $R_A = 0$  B相感受阻抗

附图17



N側 兩相接地  $R_G = 5\Omega$   $R_A = 0$  C相感受阻抗  $K_E \angle \delta = \frac{E_N}{E_M}$

附图18

阻抗元件的误动范围大致如下:

M侧 B相元件  $R_G = 0.5$  欧: 由于残压很低, 感受阻抗值很小,  
 $\delta$  小时感受阻抗在动作区内的边缘附近。

$R_G = 5$  欧:  $\delta = 60^\circ \sim 0^\circ \sim 215^\circ (-145^\circ)$   $K_E$  低时易于误动

$R_G = 10$  欧:  $\delta = 45^\circ \sim 0^\circ \sim 210^\circ (-150^\circ)$

$R_G = 50$  欧:  $-170^\circ < \delta < -15^\circ$

C相元件  $R_G = 5$  欧:  $135^\circ < \delta < 270^\circ (-90^\circ)$

$R_G = 50$  欧:  $75^\circ < \delta < 225^\circ (-135^\circ)$

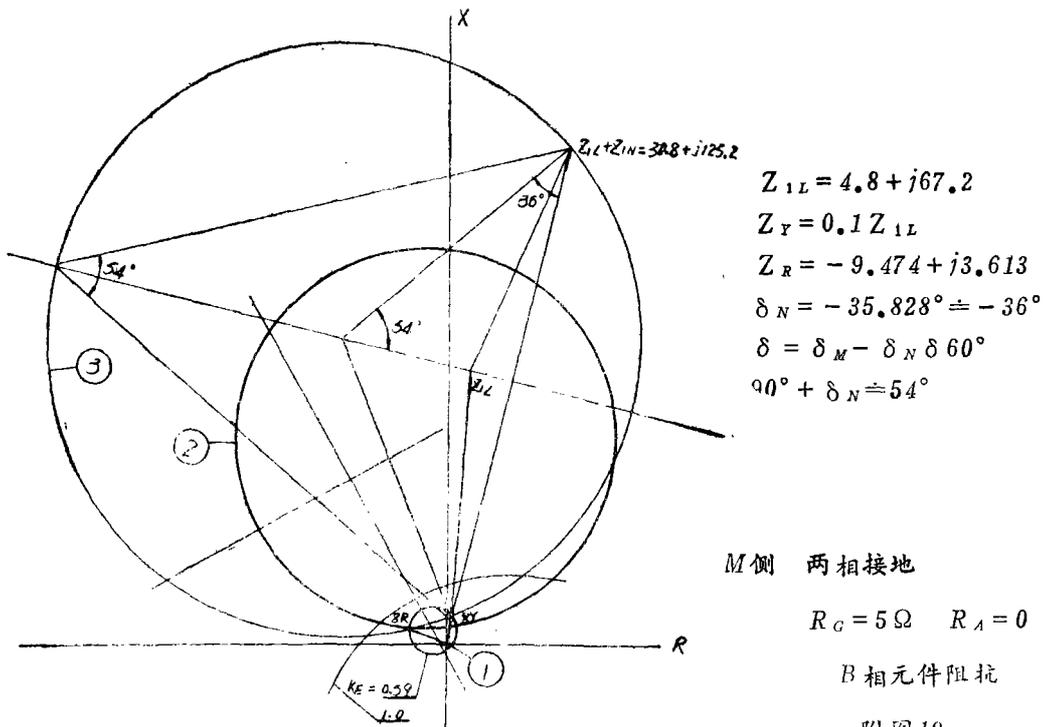
N侧 B相元件  $R_G = 5$  欧  $\delta = 35^\circ \sim 0^\circ \sim -180^\circ$   $K_E \angle \delta = E_N / E_M$

C相元件  $R_G = 5$  欧  $100^\circ < \delta < 250^\circ (-110^\circ)$   $K_E \angle \delta = E_N / E_M$

### 3. 记忆作用的影响:

从附图4可见, B相方向阻抗元件电流  $I_{BR}$  滞后电压  $U_B$  的相位约在  $90^\circ$  至  $180^\circ$  之间, 故从稳态特性来看, 将误动作, 整定阻抗愈大, 愈易于误动。但  $I_{BR}$  领先故障前的 B相电压, 其数值约为  $90^\circ$  左右, 故如 B相元件具有记忆特性, 则在记忆衰减以前不致于误动。

当整定阻抗甚低时, B相方向元件反而可能在记忆特性的作用下误动作。如  $Z_Y = 0.1 Z_{1L}$  时, 从计算得出  $K_E = 0.59$ ,  $\delta = 60^\circ$  是 M侧具有记忆的 B相元件的动作边缘。附图19示出此时的感受阻抗与动作特性圆, 图中:



附图19

圆①是  $K_E = 0.59$  的感受阻抗轨迹。

圆②是  $\delta = 60^\circ$  的感受阻抗轨迹。

圆①和②的交点  $Z_R$  是  $E_M/E_N = 0.59 \angle 60^\circ$  时的感受阻抗。

此时,  $E_N$  的相位是  $-35.828^\circ$ 。

具有记忆特性的 B 相元件的动作特性应是通过  $Z_Y$  与  $Z_1 L + Z_{1N}$  两向量的端点, 角度为  $90^\circ - 35.828^\circ = 54.172^\circ$  的弧, 即③。

③恰好通过  $Z_R$  点, 说明该点是动作边缘。当  $K_E > 0.59$  时, 感受阻抗进入③, 阻抗元件将误动作。

## 五、结 论

1. 有记忆或无记忆的方向阻抗元件在正方向出口经电阻或不经电阻单相接地故障时, 在一般的重负荷情况下, 能具有正确的选相特性, 非故障相元件不致误动作。但故障伴随振荡时, 非故障相元件可能误动作。如线路输送功率甚大, 致使非故障相元件有可能在出口单相故障时误动作, 则很可能在故障前就已经动作。

2. 无记忆或记忆衰减以后的方向阻抗元件在反方向出口两相不接地短路时, 在输送功率的影响下, 有可能误动作。采用经零序电压元件闭锁的方式来防止这种误动作似乎是可行的。

3. 方向阻抗元件在反方向两相经电阻接地时很易于误动作。整定阻抗愈大, 误动可能性也愈大, 但在记忆的作用下, 误动可能性降低了。整定阻抗愈小愈不易误动, 但在记忆的作用下, 整定阻抗太小反而会导致误动。

4. 反方向两相经电阻接地时, 方向阻抗元件的感受阻抗往往并不在座标原点附近, 因此将方向阻抗元件的动作特性圆向正方向略为抛出的措施可能并不有效。采用零序方向元件闭锁的方式看来是有效的。

5. 即使方向阻抗元件经零序方向元件闭锁, 高频闭锁距离保护装置采用具有记忆特性的方向阻抗元件还是合适的。这是因为方向阻抗特性受振荡影响最小, 更重要的是: 如采用偏移特性方向阻抗元件, 将大大损失选相能力, 而记忆作用还能大大改善方向阻抗元件对出口附近经电阻接地的保护性能。

6. 按照上述第 3 点结论, 当整定阻抗不太小时, 方向阻抗元件可望在记忆的作用下得到方向性。因此, 在系统频率比较稳定的情况下, 加强记忆作用, 增大记忆衰减时间也是一种可供考虑的措施。

## 参 考 资 料

*Impedances Seen by Relays During power Swings with and Without Faults.*  
*Tran. A. I. E. E. 1945年372—384页*