

# 用六序复合序网法分析 同杆双回线的一些特殊问题

西安交通大学 索南 葛耀中 陶惠良

## 摘要

在西安交大动模实验室同杆双回线专用动模上经过多次重复试验发现在同杆双回线的一些故障中无论两同名相是健全相还是故障相,它们之间都可能出现差电流,本文用六序复合序网法对这些特殊问题进行了分析,同时讨论了这些问题对横联差动保护的影响,并给出了一些故障的仿真结果。

## 一 前 言

同杆双回线占用出线走廊窄,可以少砍伐森林,少拆迁民房和少占用良田,因此在220kV系统中同杆双回线的采用日益增多,而且330kV和500kV系统也有积极采用的趋势,目前国内已研制出一些保护以适应同杆双回线保护的要求。最近在西安交大动模室同杆双回线专用动模上进行了多次故障实验,发现在同杆双回线故障时的一些特殊问题:

1. 两回线非全相运行期间,两健全同名相电流可能不相等。
2. 两回线运行内部发生故障一侧开关先切除时,两健全同名相电流可能不相等。
3. 在双回线运行内部发生单回线故障或非同名跨线故障时,两健全同名相电流可能不相等。
4. 在双回线运行时发生跨线故障,两故障同名相电流也可能不相等。

由于这些特殊问题的影响,使得目前在双回线采用的一些保护及重合闸装置都在不同方面存在着问题,如会出现拒选相,在相继动作和非全相运行期间必须退出等,因而在二次故障及转换故障时失去保护作用。尤其在部分同杆和部分分杆的双回线对某些保护的正确选相存在潜在的影响,或使保护相继动作区增大。为此从理论上分析同杆双回线的这些特殊问题,找出其故障特征,为研制性能完善的同杆双回线保护提供理论依据有现实意义。

本文针对上述同杆双回线的特殊问题,用六序复合序网法进行分析和计算,给出了一些有意义的结果。通过分析可以看出,用六序复合序网分析同杆双回线的故障特征简单明了,物理意义明确,而且不需要求解繁琐的方程式。

## 二 同杆双回线特殊问题的分析

文献<sup>[1,3]</sup>介绍了六序复合序网分析同杆双回线故障的方法,并给出了各种故障下六序故障分量之间的相位关系和幅值关系。本文仅仅是在此基础上着重分析在各种故障下,两健全同名相之间的差电流和两故障同名相之间的差电流的大小及影响因素。

六序分量实际上就是将双回线的六相电流分解为同序量和反序量,由于同序量在两回线上分布的电流相等,反序量在两回线上分布的电流相反,因此双回线同名相之间的差电流是由反序量产生的,而和同序量没有直接关系。

现对此问题进行分析讨论如下,并以西北南线的参数为例进行了仿真计算,理论分析和动模实验的结果是一致的。

系统接线如图1所示。设故障点的各序阻抗为 $Z_{T1}$ 、 $Z_{T2}$ 、 $Z_{T0}$ 、 $Z_{F1}$ 、 $Z_{F2}$ 、 $Z_{F0}$ ,各序电流的分布系数为 $C_{T1}$ 、 $C_{T2}$ 、 $C_{T0}$ 、 $C_{F1}$ 、 $C_{F2}$ 、 $C_{F0}$ 。用 $I_{AF}$ 、 $I_{BF}$ 、 $I_{CF}$ 分别表示两回线的A、B、C相的差电流,用 $I_{AT}$ 、 $I_{BT}$ 、 $I_{CT}$ 分别表示两回线A、B、C的同向电流,保护安装侧的电流可写为:

$$I_{IA} = I_{AT} + I_{AF}$$

$$I_{IA} = I_{AT} - I_{AF}$$

对应的B、C电流如同上式也可写出。

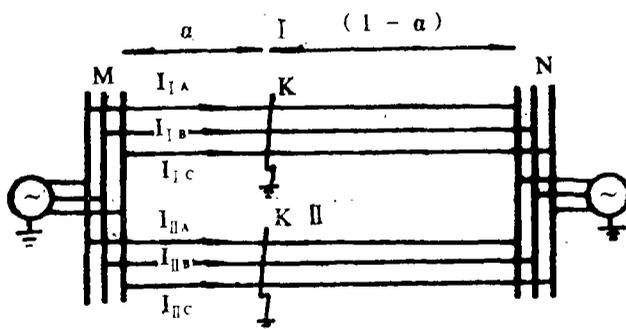


图1 同杆双回线简化系统

### 1. IA-G 故障时,两健全同名相的差电流

由文献<sup>[3]</sup>可得这种故障的复合序网如图2所示。由图2可知,  $I_{T1} = I_{T2} = I_{T0} = I_{F1} = I_{F2} = I_{F0}$ , M侧的健全同名相的差电流为:

$$I_{BF} = a^2 C_{F1} I_{F1} + a C_{F2} I_{F2} + C_{F0} I_{F0}$$

$$I_{CF} = a C_{F1} I_{F1} + a^2 C_{F2} I_{F2} + C_{F0} I_{F0}$$

进一步可得:

$$I_{BF} = I_{F0} (a^2 C_{F1} + a C_{F2} + C_{F0}) \quad (1)$$

$$I_{CF} = I_{F0} (a C_{F1} + a^2 C_{F2} + C_{F0}) \quad (2)$$

式中:  $C_{F1}$ 、 $C_{F2}$ 、 $C_{F0}$ 是双回线本身参数决定的,反序的正序和负序阻抗和线路长度

正比, 因而 $C_{F1}$ 、 $C_{F2}$ 可由线路的长度确定,  $C_{F1} = C_{F2} = 1 - \alpha$ , 反序零序阻抗大小由于受到零序互感分布不均的影响, 如部分同杆部分分杆的双回线, 因而和线路长度不成比例, 所以一般有 $C_{F1} \neq C_{F0}$ 。

a) 当同杆双回线零序互感分布均匀时, 则有 $C_{F1} = C_{F2} = C_{F0}$ , 由式(1)、(2)的关系可得,  $I_{BF} = 0$ ,  $I_{CF} = 0$ , 即健全相同名相的电流相等。

b) 当同杆双回线零序互感分布不均匀时, 则有 $C_{F1} = C_{F2} \neq C_{F0}$ , 由式(1)、(2)的关系可得:

$$I_{BF} = C_{F1} I_{F0} \left( \frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1 \right) \quad (3)$$

$$I_{CF} = C_{F1} I_{F0} \left( \frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1 \right)$$

同理分析也可以得到:

$$I_{BT} = I_{CT} = C_{T1} I_{T0} \left( \frac{C_{T0}}{C_{T1}} - 1 \right) \quad (4)$$

由式(3)、(4)可以得到两回线健全同名相电流为:

$$I_{IB} = I_{IC} = I_{F0} (C_{T0} - C_{T1} + C_{F0} - C_{F1}) \quad (5)$$

$$I_{1B} = I_{1C} = I_{F0} (C_{T0} - C_{T1} - C_{F0} + C_{F1}) \quad (6)$$

由(3)式可以看出, 当 $\left| \frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1 \right| \neq 0$ 时两健全同名相的差电流不为零,

$\left| \frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1 \right|$ 愈大则此差电流愈大, 当 $\frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1$ 和 $\frac{C_{T0}}{C_{T1}} - 1$ 同相时则 $|I_{1B}| > |I_{1C}|$ 、

$|I_{1C}| > |I_{1B}|$ , 当 $\frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1$ 和 $\frac{C_{T0}}{C_{T1}} - 1$ 反相时,  $|I_{1B}| < |I_{1C}|$ ,  $|I_{1C}| < |I_{1B}|$ 。

由矢量图(3)分析也可以得出同样的结论。

由图1可知,  $I_{F0} = U_E / (Z_{T1} + Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{T2} + Z_{T0} + Z_{F0})$ 而零序互感仅影响 $Z_{T0}$ 和 $Z_{F0}$ , 而 $Z_{T0} + Z_{F0} = 2Z_0$ ,  $Z_0$ 为单回线的零序阻抗, 因此 $I_{F0}$ 的大小和零序互感的大小没有直接联系, 由此可以得出健全同名相的差电流的大小和零序互感的大小没有直接联系, 而仅仅决定于零序互感分布不均匀。

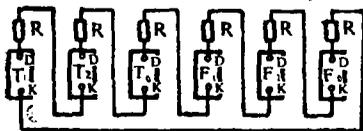


图2 IA-G复合序网

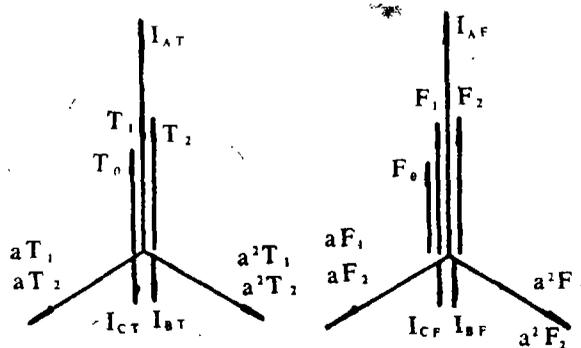


图3 IA-G电流矢量

2. IBC-G故障时, 健全同名相的差电流

IBC-G故障时的六序复合序网如图4所示, 健全同名相电流的矢量分析如图5所示。

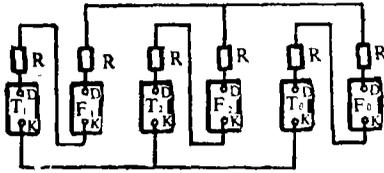


图4 IBC-G复合序网

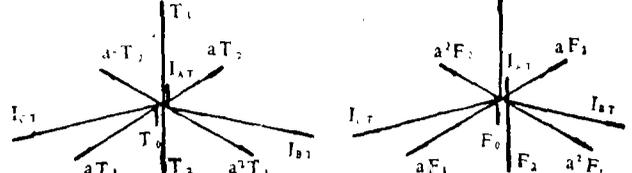


图5 IBC-G电流矢量

由图4所给的各序电流的关系我们可以得到:

$$I_{T1} = I_{F1}, I_{T2} = I_{F2}, I_{T0} = I_{F0}, \text{ 及 } I_{F1} + I_{F2} + I_{F0} = 0$$

由此可以得到:

$$I_{AF} = C_{F1} I_{F0} \left( \frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1 \right) \quad (7)$$

$$I_{AT} = C_{T1} I_{F0} \left( \frac{C_{T0}}{C_{T1}} - 1 \right) \quad (8)$$

由式(7)、(8)可以得到 $I_{IA}$ 和 $I_{IA'}$ 电流为:

$$I_{IA} = I_{F0} (C_{T0} - C_{T1} + C_{F0} - C_{F1}) \quad (9)$$

$$I_{IA'} = I_{F0} (C_{T0} - C_{T1} - C_{F0} + C_{F1}) \quad (10)$$

由图4可以看出当不接地故障时, 相当于 $T_0$ 网开路, 于是 $I_{F0} = 0$ 。由上述分析可以得到下述结论。

- a、当发生单回线相间不接地故障时,  $I_{AF} = 0, I_{AT} = 0$ , 因而 $I_{IA} = I_{IA'} = 0$ 。
- b、当双回线零序互感分布均匀时,  $C_{F0} = C_{F1}, I_{AF} = I_{AT} = I_{IA} = I_{IA'} = 0$ 。
- c、当  $\left| \frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1 \right| \neq 0$  时,  $I_{AF} \neq 0, \left| \frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1 \right|$  愈大则差电流 $I_{AF}$ 愈大。
- d、当  $\frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1$  和  $\frac{C_{T0}}{C_{T1}} - 1$  同相时,  $|I_{IA}| > |I_{IA'}|$  当  $\frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1$  和  $\frac{C_{T0}}{C_{T1}} - 1$  反相时,  $|I_{IA'}| > |I_{IA}|$ 。
- e、 $I_{AF}$  电流的大小和零序互感的大小没有直接关系, 而仅仅决定于零序互感的分布不均匀。

3. IBII C-G故障, 健全同名相的差电流。

IBII C-G故障时的六序复合序网如图6所示, 健全同名相电流矢量分析如图7所示。

由图6可以得到六序电流的关系:

$$I_{T1} + I_{T2} + I_{T0} = 0$$

$$I_{F1} + I_{F2} + I_{F0} = 0$$

$$\arg \frac{I_{F0}}{I_{T0}} = +90^\circ$$

由此可以得到:

$$I_{AF} = C_{F1} I_{F0} \left( \frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1 \right) \quad (11)$$

$$I_{AT} = C_{T1} I_{T0} \left( \frac{C_{T0}}{C_{T1}} - 1 \right) \quad (12)$$

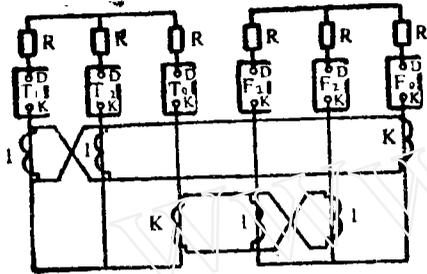


图6 IBII C-G复合序网

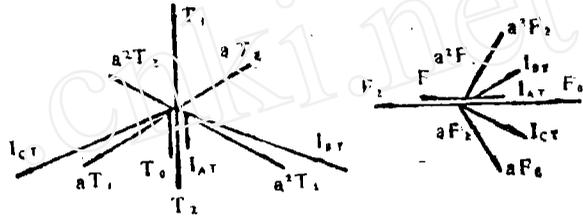


图7 IBII C-G电流矢量

由上述分析可以得出:

a、跨线故障无论接地还是不接地故障,  $I_{F0}$  都不为零, 由图6分析可以容易地得出  $I_{0F} \neq 0$ 。

b、当  $C_{F1} = C_{F0}$  时,  $I_{AF} = 0$  但  $I_{AT} \neq 0$ 。

c、由于  $\arg \frac{I_{F0}}{I_{T0}} = 90^\circ$ , 所以总有  $I_{AF}$  和  $I_{AT}$  垂直, 于是  $I_{FA}$  和  $I_{TA}$  的电流幅值总是相等的。

d、 $\left| \frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1 \right|$  愈大, 差电流  $I_{AF}$  就愈大。

e、在完全同杆时 (即  $Z_M = Z_M'$ ),  $Z_{F1} = Z_{F2} = Z_{F0}$  在分杆时,  $Z_{F1} = Z_{F2} < Z_{F0}$ , 由图6可知  $Z_{F0}$  愈小则  $I_{F0}$  愈大, 由此可得出: 在M侧  $Z_M = Z_M'$  时, 差电流  $I_{AF}$  最大, 随着两回线的线间距离的增大差电流  $I_{AF}$  就愈小。(指的另一侧  $Z'_M = 0$ )

#### 4. I BC II B-G故障, 健全同名相的差电流以及故障同名相的差电流

I BC II B-G故障时的六序复合序网如图8所示, 同名相的差电流矢量分析如图9所示。

由图8分析可得六序电流的关系:

$$I_{T1} + I_{T2} + I_{T0} = 0$$

$$I_{F1} + I_{F2} + I_{F0} = 0 \quad ; \quad |I_{F1}| \approx |I_{F2}|$$

相位关系近似满足,  $\arg \frac{I_{F0}}{I_{T0}} \approx -90^\circ$  由此可以得到健全同名相差电流:

$$I_{AF} = C_{F1} I_{F0} \left( \frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1 \right) \quad (13)$$

$$I_{AT} = C_{T1} I_{T0} \left( \frac{C_{T0}}{C_{T1}} - 1 \right) \quad (14)$$

故障同名相差电流:

$$\begin{aligned} I_{BF} &= C_{F1} a^2 I_{F1} + C_{F2} a I_{F2} + C_{F0} I_{F0} \\ &= -C_{F1} I_{F0} \left( K - \frac{C_{F0}}{C_{F1}} \right) \end{aligned} \quad (15)$$

$$I_{BT} = C_{T1} a^2 I_{T1} + C_{T2} a I_{T2} + C_{T0} I_{T0} \quad (16)$$

其中:  $K$  为实数  $K = \frac{a^2 I_{F1} + a I_{F2}}{I_{F0}} = f \left( \frac{Z_{F0}}{Z_{F1}} \right)$

当  $Z_{F0} = Z_{F1}$  (全换位同杆双回线) 时,  $K = 1$ , 当  $Z_{F0} > Z_{F1}$  时,  $K > 1$ ,  $K$  和  $Z_{F0}/Z_{F1}$  的关系可以由图 8 很容易推出来。

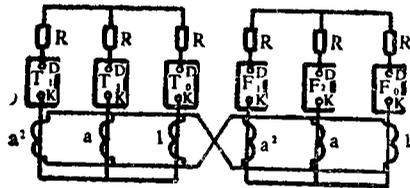


图 8 I BC II B-G 复合序网

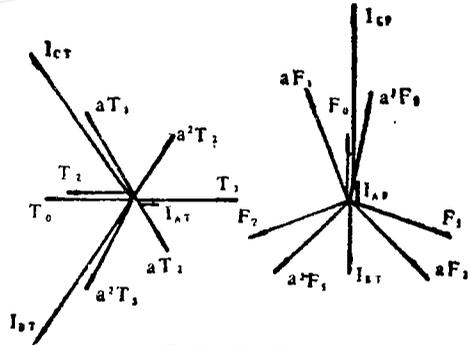


图 9 I BC II B-G 电流矢量

由上述分析可以得出:

a, 无论是接地还是不接地故障  $I_{F0}$  都不为零, 因而差电流  $I_{AF}$  不为零,  $I_{BF}$  也不为零。

b, 当  $C_{F1} = C_{F0}$  时, 健全同名相差电流  $I_{AF}$  为零, 随着  $\left| \frac{C_{F0}}{C_{F1}} - 1 \right|$  的增加  $I_{AF}$  愈大。

c, 由于  $I_{F0}$  和  $I_{T0}$  垂直, 所以  $I_{AF}$  和  $I_{AT}$  也是垂直的, 因而健全同名相电流  $I_{IA}$  和  $I_{IA}$  近似相等。

d, 健全同名相差电流  $I_{AF}$  随着 M 侧两回线线间距离的增大而减小。(设另一侧双回线分杆)

e, 在全换位同杆双回线中,  $Z_{F1} = Z_{F0}$ , 故障同名相差电流  $I_{BF}$  为零, 当  $Z_{F1} \neq Z_{F0}$  时, 随着  $Z_{F0}/Z_{F1}$  的增加,  $I_{BF}$  愈大。

d, 由图 9 的矢量分析可以看出,  $I_{BF}$  和  $I_{BT}$  在同一半平面内, 而且它们之间的角度小于  $90^\circ$ , 由此可得,  $|I_{BF}| > |I_{BT}|$ , 即多相故障线的同名相电流大于少相故障线的同名相电流。

5. I AB II BC-G故障时, 两故障同名相之间的差电流。

I AB II BC-G故障的六序复合序网如图10所示, 同名相的差电流矢量分析如图11所示。

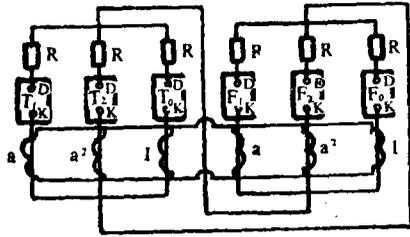


图10 I AB II BC-G复合序网

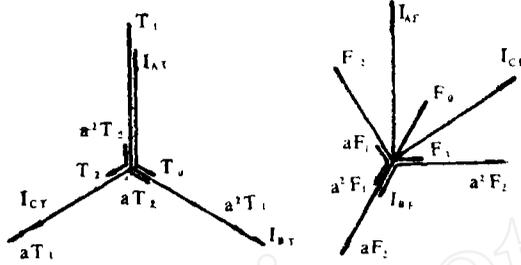


图11 I AB II BC-G电流矢量

由图10分析可得六序电流的关系:

$$\arg \frac{I_{F0}}{I_{T0}} = 90^\circ, \quad \arg \frac{I_{F1}}{I_{T1}} = -90^\circ; \quad \arg \frac{I_{F2}}{I_{T2}} = -90^\circ$$

$$\begin{cases} a^2 I_{T1}, & a I_{T2}, & I_{T0} & \text{同相位} \\ a^2 I_{F1}, & a I_{F2}, & -I_{F0} & \text{同相位} \end{cases}$$

由此可以得出故障同名相的电流为:

$$I_{BF} = C_{F1} a^2 I_{F1} + C_{F2} a I_{F2} + C_{F0} I_{F0} \quad (17)$$

$$I_{BT} = C_{T1} a^2 I_{T1} + C_{T2} a I_{T2} + C_{T0} I_{T0} \quad (18)$$

由上述表达式及图11的矢量分析可以看出:

- a、无论是接地故障还是不接地故障, 故障同名相的差电流  $I_{BF}$  都可能不为零。
- b、在全换位同杆双回线中,  $Z_{F1} = Z_{F0}$ , 并且故障同名相的差电流  $I_{BF}$  为零, 随着  $Z_{F0}/Z_{F1}$  愈大即双回线的线间距离愈大, 故障同名相的差电流  $I_{AF}$  也愈大。由分析可以看出线路零序互感分布不均对  $I_{AF}$  的影响不大。
- c、由六序分量的相位特性可以看出,  $I_{BF}$  和  $I_{BT}$  的相位差为  $90^\circ$ , 所以  $|I_{BF}| = |I_{BT}|$ , 即故障同名相的电流幅值相等。

6. I ABC II A-G故障时, 故障同名相的电流

I ABC II A-G故障的六序复合序网如图12所示, 同名相差电流矢量分析如图13所示。

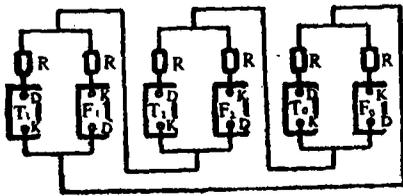


图12 I ABC II A-G复合序网

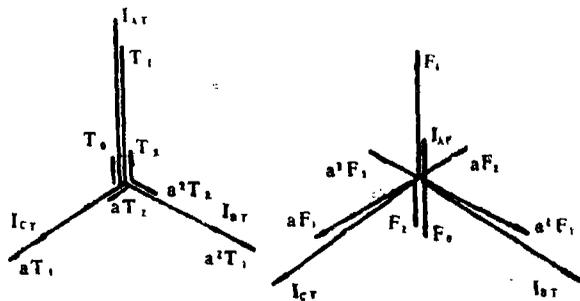


图13 I ABC II A-G电流矢量

由图12分析可以得出:

$$I_{AF} = C_{F1}I_{F1} + C_{F2}I_{F2} + C_{F0}I_{F0} = K_F I_{F1} \quad (19)$$

$$I_{AT} = C_{T1}I_{T1} + C_{T2}I_{T2} + C_{T0}I_{T0} = K_T I_{T1} \quad (20)$$

在各序网的阻抗角一致时,  $K_F$ 和 $K_T$ 都为实数。

由上述分析可知:

a、无论接地故障还是不接地故障, 故障同名相差电流 $I_{AF}$ 都可能不为零。

b、在 $Z_{F1} = Z_{F0}$ 时,  $K_F = 0$ , 所以 $I_{AF} = 0$ , 不存在差电流, 在 $Z_{F0} > Z_{F1}$ 时, 随着 $Z_{F0}/Z_{F1}$ 的增大, 故障同名相的差电流就愈大。

c、由分析可知,  $K_F > 0$ ,  $K_T > 0$ , 并且由图12可以看出 $I_{T1}$ 和 $I_{F1}$ 同相位, 因而 $I_{AF}$ 和 $I_{AT}$ 同相位, 所以有 $|I_{AF}| > |I_{AT}|$ 。

7. I ABC II BC-G故障时, 故障同名相的差电流。

这种故障的六序复合序网如图14所示, 故障同名相的差电流分析如图15所示。

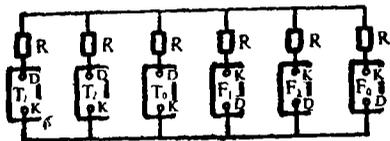


图14 I ABC II BC-G复合序网

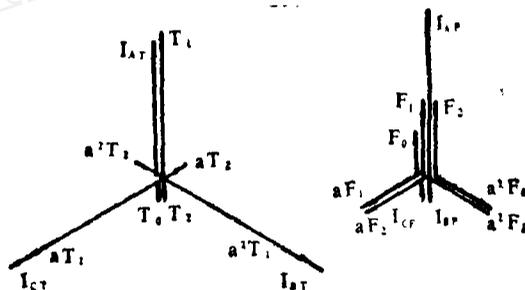


图15 I ABC II BC-G电流矢量

由图14可以得出:

$$\begin{aligned} I_{BF} &= C_{F1}a^2I_{F1} + aC_{F2}I_{F2} + C_{F0}I_{F0} \\ &= C_{F1}I_{F0} \left( \frac{C_{F0}}{C_{F1}} - \frac{Z_{F0}}{Z_{F1}} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

$$I_{BT} = C_{T1}a^2I_{T1} + aC_{T2}I_{T2} + C_{T0}I_{T0} \quad (22)$$

由复合序网及矢量分析我们可以得出:

a、无论是接地故障还是不接地故障, 故障同名相的差电流 $I_{BF}$ 都可能不为零。

b、当 $Z_{F1} = Z_{F0}$ 时 $I_{BF}$ 为零, 在 $Z_{F0} > Z_{F1}$ 时 $I_{BF}$ 不为零, 而且随 $Z_{F0}/Z_{F1}$ 的增加而增加。

c、由矢量图分析可以看出,  $I_{BT}$ 和 $I_{BF}$ 同方向, 因而 $|I_{BF}| > |I_{BT}|$ 。

$I_{CF}$ 、 $I_{CT}$ 的分析结果同上。

8. IA断线时, 健全同名相的差电流分析

IA断线情况下的六序复合序网如图16, 健全同名相电流矢量分析如图17所示。

由图16可以得出:

$$I_{BF} = a^2I_{F1} + aI_{F2} + I_{F0}$$

$$= I_{F0} \left( 1 - \frac{Z_{F0}}{Z_{F1}} \right) \quad (23)$$

$$I_{BT} = a^2 I_{F1} + a I_{F2} + I_{F0}$$

由复合序网及矢量分析我们可以得出:

a、 $Z_{F1} = Z_{F0}$ 时,  $I_{BF} = 0$ ,  $I_{BF}$ 随着  $\frac{Z_{F0}}{Z_{F1}}$ 的增加而增加。

b、由矢量图17可以看出,  $I_{BF}$ 和  $I_{BT}$ 的方向相反, 因而有  $|I_{iB}| > |I_{iB}|$ 。  
 $I_{CF}$ 、 $I_{CT}$ 的分析结果同上。

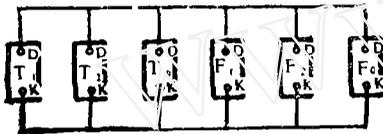


图16 1A断线复合序网

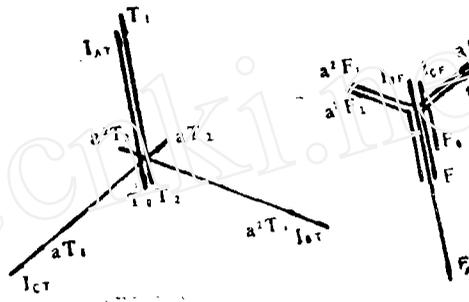


图17 A断线电流矢量

以上我们利用六序复合序网分析了在同杆双回线的故障中, 健全同名相和故障同名相之间差电流以及影响这个差电流的因素, 为验证我们定性分析的正确性, 本文采用了陕西安南同杆双回线的数据, 通过EMTP仿真程序进行了定量计算, 计算结果和本文分析中所得结果是一致的。

为分析比较严重的情况, 我们将双回线的同杆部分和分杆部分集中布置, 同杆部分占双回线全长的60%, 分杆部分占40%, 双回线简化系统如图18所示。

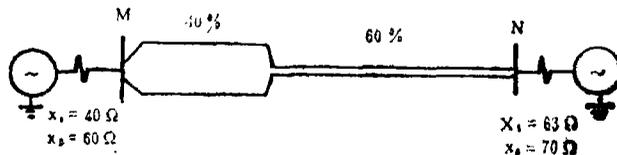


图18 同杆双回线计算模型

双回线参数如下:

线路全长 230kM, 同杆部分占60%, 分杆部分占40%, 电压330kV。

同杆部分:

$$Z_L = 86.64\Omega \quad Z_M = 42.24\Omega \quad Z_M' = 39\Omega$$

分杆部分:

$$Z_L = 57.76\Omega \quad Z_M = 28.16\Omega \quad Z_M' = 12\Omega$$

表 1

M=	AMP	ANG	N=	AMP	ANG	K=	AMP	ANG
IA-G								
A	.1565E+01	-90.00	.1481E+01	-90.00	.3046E+01	-90.00		
B	.2557E-01	90.00	.2557E-01	-90.00	.0000E+00	.00		
C	.2557E-01	90.00	.2557E-01	-90.00	.0000E+00	.00		
A	.6918E-01	90.00	.6918E-01	-90.00	.0000E+00	.00		
B	.1680E+00	-90.00	.1680E+00	90.00	.0000E+00	.00		
C	.1680E+00	-90.00	.1680E+00	90.00	.0000E+00	.00		
IBC-G								
A	.1959E-01	-90.00	.1959E-01	90.00	.0000E+00	.00		
B	.2069E+01	163.44	.1905E+01	162.36	.3973E+01	162.92		
C	.2069E+01	16.56	.1905E+01	17.64	.3973E+01	17.08		
A	.1287E+00	90.00	.1287E+00	-90.00	.0000E+00	.00		
B	.2981E+00	7.29	.2981E+00	-172.71	.0000E+00	.00		
C	.2981E+00	172.71	.2981E+00	-7.29	.0000E+00	.00		
IBIIC-G								
A	.2252E+00	14.90	.2252E+00	-165.10	.0000E+00	.00		
B	.1722E+01	155.85	.1929E+01	163.94	.3642E+01	160.13		
C	.6236E-01	-141.84	.6236E-01	38.16	.0000E+00	.00		
A	.2252E+00	165.10	.2252E+00	-14.90	.0000E+00	.00		
B	.6236E-01	-38.16	.6236E-01	141.84	.0000E+00	.00		
C	.1722E+01	24.15	.1929E+01	16.06	.3642E+01	19.87		
IBCIIB-G								
A	.1160E+00	163.58	.1160E+00	-16.42	.0000E+00	.00		
B	.1381E+01	167.82	.1338E+01	165.61	.2719E+01	166.73		
C	.2008E+01	18.14	.2024E+01	14.57	.4030E+01	16.34		
A	.1220E+00	47.32	.1220E+00	-132.68	.0000E+00	.00		
B	.8292E+00	143.64	.1222E+01	162.31	.2025E+01	154.78		
C	.2183E+00	179.63	.2183E+00	-37	.0000E+00	.00		
IBC-IIC-G								
A	.1160E+00	16.42	.1160E+00	-163.58	.0000E+00	.00		
B	.2008E+01	161.86	.2024E+01	165.43	.4030E+01	163.66		
C	.1381E+01	12.18	.1338E+01	14.39	.2719E+01	13.27		
A	.1220E+00	132.68	.1220E+00	-47.32	.0000E+00	.00		
B	.2183E+00	.37	.2183E+00	-179.63	.0000E+00	.00		
C	.8292E+00	36.36	.1222E+01	17.69	.2025E+01	25.22		
IABCIIA-G								
A	.1566E+01	-90.00	.1502E+01	-90.00	.3068E+01	-90.00		
B	.2244E+01	152.10	.2180E+01	146.35	.4418E+01	149.28		
C	.2244E+01	27.90	.2180E+01	33.65	.4418E+01	30.72		
A	.7695E+00	-90.00	.1349E+01	-90.00	.2118E+01	-90.00		
B	.3059E+00	-14.81	.3059E+00	165.19	.0000E+00	.00		
C	.3059E+00	-165.19	.3059E+00	14.81	.0000E+00	.00		
IABIIBC-G								
A	.2060E+01	-83.22	.2176E+01	-88.05	.4233E+01	-85.79		
B	.1334E+01	122.43	.1458E+01	145.33	.2736E+01	134.39		
C	.2199E+00	176.13	.2199E+00	-3.87	.0000E+00	.00		
A	.2199E+00	123.86	.2199E+00	-56.14	.0000E+00	.00		
B	.1333E+01	177.56	.1458E+01	154.69	.2736E+01	165.61		
C	.2061E+01	23.22	.2176E+01	28.05	.4233E+01	25.71		

(续表1)

M=	AMP	ANG	N=	AMP	ANG	K=	AMP	ANG
I ABCIIBC-G								
A	.2212E+01	-90.00	.2225E+01	-90.00	.4438E+01	-90.00		
B	.1384E+01	139.99	.1519E+01	150.77	.2892E+01	145.64		
C	.1384E+01	40.01	.1519E+01	29.23	.2892E+01	34.36		
A	.2663E+00	90.00	.2663E+00	-90.00	.0000E+00	.00		
B	.1087E+01	167.10	.1463E+01	155.04	.2537E+01	160.19		
C	.1087E+01	12.90	.1463E+01	24.96	.2537E+01	19.81		
IA OPEN CIRCUIT								
A	.0000E+00	.00	.0000E+00	.00	.0000E+00	.00		
B	.7187E+00	105.15	.7187E+00	-74.85	.0000E+00	.00		
C	.7187E+00	-35.15	.7187E+00	144.85	.0000E+00	.00		
A	.1251E+01	-145.00	.1251E+01	35.00	.0000E+00	.00		
B	.8172E+00	90.81	.8172E+00	-89.19	.0000E+00	.00		
C	.8172E+00	-20.81	.8172E+00	159.14	.0000E+00	.00		
IA OPEN CIRCUIT AND EARTHING								
A	.1690E+01	-69.58	.0000E+00	.00	.1690E+01	-69.58		
B	.8863E+00	100.15	.8863E+00	-73.85	.0000E+00	.00		
C	.5877E+00	-25.85	.5877E+00	154.15	.0000E+00	.00		
A	.1230E+01	-169.82	.1230E+01	10.18	.0000E+00	.00		
B	.6834E+00	86.00	.6834E+00	-94.00	.0000E+00	.00		
C	.9348E+00	-28.48	.9348E+00	151.52	.0000E+00	.00		

注: 电流(kA) 相角(度)

在仿真计算中, 考虑两种运行方式, 一种是双端电源供电, 两侧的电势相等, 在断线计算时两侧电源电势夹角 $30^\circ$ , 计算结果列入表1。另一种是N侧单电源供电, 计算结果列入表2。

### 三 同杆双回线的特殊问题对横联保护的影响

由前面分析可知, 在同杆双回线发生内部故障时, 健全同名相之间差电流, 以及故障同名相之间差电流都可能不相等, 这就对一些反应双回线同名相电流的差值而动作的保护的正确动作产生一定的影响, 下面分别予以讨论。

#### 1. 横差保护

横联保护是反应母线电压 $U$ , 和两线同名相差电流而动作的保护, 因而在下述情况下的差电流会对横差保护的動作产生影响。

a、单回线的接地故障、非同名跨线故障时, 如果 $C_{F1} \neq C_{F0}$ , 则两健全同名相之间会出现差电流, 因而在这种情况下健全相上的横差保护可能动作。

b、在断线时以及断线接地时, 如果 $Z_{F1} \neq Z_{F0}$ , 则两健全同名相之间会出现差电流, 这时健全相上的横联保护可能动作。

c、在非同名跨线故障时, 如果 $Z_{F1} \neq Z_{F0}$ , 则两故障同名相之间会出现差电流, 这时横差保护会选出其中一相。

表 2

M=	AMP	ANG	N=	AMP	ANG	k=	AMP	ANG
IA-G								
A	.8850E+00	-90.00	.1508E+01	-90.00	.2393E+01	-90.00	.0000E+00	.00
B	.1623E+00	-90.00	.1623E+00	90.00	.0000E+00	90.00	.0000E+00	.00
C	.1623E+00	-90.00	.1623E+00	90.00	.0000E+00	90.00	.0000E+00	.00
A	.3985E+00	90.00	.3985E+00	-90.00	.0000E+00	-90.00	.0000E+00	.00
B	.3143E+00	-90.00	.3143E+00	90.00	.0000E+00	90.00	.0000E+00	.00
C	.3143E+00	-90.00	.3143E+00	90.00	.0000E+00	90.00	.0000E+00	.00
IBC-G								
A	.1461E+00	90.00	.1461E+00	-90.00	.0000E+00	-90.00	.0000E+00	.00
B	.8471E+00	146.18	.1735E+01	159.57	.2567E+01	155.19	.2567E+01	155.19
C	.8471E+00	33.82	.1735E+01	20.43	.2567E+01	24.81	.2567E+01	24.81
A	.2830E+00	90.00	.2830E+00	-90.00	.0000E+00	-90.00	.0000E+00	.00
B	.6951E+00	-3.13	.6951E+00	176.87	.0000E+00	176.87	.0000E+00	.00
C	.6951E+00	-176.87	.6951E+00	3.13	.0000E+00	3.13	.0000E+00	.00
IBIC-G								
A	.2658E+00	58.52	.2658E+00	-121.48	.0000E+00	-121.48	.0000E+00	.00
C	.7725E+00	132.40	.1757E+01	161.15	.2463E+01	152.48	.2463E+01	152.48
C	.5240E+00	-167.61	.5240E+00	12.39	.0000E+00	12.39	.0000E+00	.00
A	.2658E+00	121.48	.2658E+00	-58.52	.0000E+00	-58.52	.0000E+00	.00
B	.5240E+00	-12.39	.5240E+00	167.61	.0000E+00	167.61	.0000E+00	.00
C	.7725E+00	47.60	.1757E+01	18.85	.2463E+01	27.52	.2463E+01	27.52
IBCIIB-G								
A	.2290E+00	113.30	.2290E+00	-66.70	.0000E+00	-66.70	.0000E+00	.00
B	.2807E+00	149.23	.1370E+01	163.66	.1644E+01	161.23	.1644E+01	161.23
C	.8117E+00	41.92	.1784E+01	18.18	.2548E+01	25.55	.2548E+01	25.55
A	.2667E+00	84.67	.2667E+00	-95.33	.0000E+00	-95.33	.0000E+00	.00
B	.3755E+00	64.02	.1307E+01	161.13	.1315E+01	144.68	.1315E+01	144.68
C	.6631E+00	-174.64	.6631E+00	5.36	.0000E+00	5.36	.0000E+00	.00
IBCIIC-G								
A	.2290E+00	66.70	.2290E+00	-113.30	.0000E+00	-113.30	.0000E+00	.00
B	.8117E+00	138.08	.1784E+01	161.82	.2548E+01	154.45	.2548E+01	154.45
C	.2807E+00	30.77	.1370E+01	16.34	.1644E+01	18.77	.1644E+01	18.77
A	.2667E+00	95.33	.2667E+00	-84.67	.0000E+00	-84.67	.0000E+00	.00
B	.6631E+00	-5.36	.6631E+00	174.64	.0000E+00	174.64	.0000E+00	.00
C	.3755E+00	115.98	.1307E+01	18.87	.1315E+01	35.32	.1315E+01	35.32
IABCIIA-G								
A	.2785E+00	-90.00	.1514E+01	-90.00	.1793E+01	-90.00	.1793E+01	-90.00
B	.7612E+00	157.60	.1921E+01	147.82	.2674E+01	150.60	.2674E+01	150.60
C	.7612E+00	22.40	.1921E+01	32.18	.2674E+01	29.40	.2674E+01	29.40
A	.1848E+00	90.00	.1425E+01	-90.00	.1240E+01	-90.00	.1240E+01	-90.00
B	.7846E+00	-27.80	.7846E+00	152.20	.0000E+00	152.20	.0000E+00	.00
C	.7846E+00	-152.20	.7846E+00	27.80	.0000E+00	27.80	.0000E+00	.00
IABIIC-G								
A	.6773E+00	-85.39	.1928E+01	-89.18	.2604E+01	-88.20	.2604E+01	-88.20
B	.3922E+00	65.30	.1488E+01	147.09	.1592E+01	132.96	.1592E+01	132.96
C	.7022E+00	-158.66	.7022E+00	21.34	.0000E+00	21.34	.0000E+00	.00
A	.7022E+00	98.67	.7022E+00	-81.33	.0000E+00	-81.33	.0000E+00	.00
B	.3922E+00	-125.29	.1488E+01	152.90	.1592E+01	167.01	.1592E+01	167.01
C	.6773E+00	25.39	.1928E+01	29.18	.2604E+01	28.19	.2604E+01	28.19
IABCIIBC-G								
A	.7152E+00	-90.00	.1948E+01	-90.00	.2663E+01	-90.00	.2663E+01	-90.00
B	.2313E+00	91.37	.1524E+01	150.46	.1655E+01	143.58	.1655E+01	143.58
C	.2313E+00	88.63	.1524E+01	29.54	.1655E+01	36.42	.1655E+01	36.42
A	.7723E+00	90.00	.7723E+00	-90.00	.0000E+00	-90.00	.0000E+00	.00
B	.1571E+00	-92.01	.1489E+01	152.97	.1430E+01	158.69	.1430E+01	158.69
C	.1571E+00	-87.99	.1489E+01	27.03	.1430E+01	21.31	.1430E+01	21.31

注：电流(kA) 相角(度)

## 2) 电流平衡保护

电流平衡保护是基于两同名相电流不相等而动作的保护。在下述情况下的电流不平等会对电流平衡保护的動作产生影响。

a、在单回线的接地故障中，如果 $C_{F1} \neq C_{F0}$ ，则健全同名相电流不相等，这时电流平衡保护可能动作。在跨线故障时，如果 $C_{F1} \neq C_{F0}$ ，则健全同名相电流不相等，但是幅值相等所以电流平衡保护不会动作。

b、在断线及断线接地时，如果 $Z_{F1} \neq Z_{F0}$ ，那么健全相的线中的同名相电流大于缺相线中同名相电流，因而健全相线的同名相可能被电流平衡保护选出。

c、在非同名跨线故障中，如果 $Z_{F1} \neq Z_{F0}$ ，则故障同名相电流不相等，在 I BC II B、I BC II C、I ABC II A、I ABC II BC 类型故障中，包含较多故障相线的故障同名相电流大于包含较少故障相线的故障同名相电流，因而电流平衡保护会将包含较多故障相线的同名相选出。在 I AB II BC、I B II C 类型的故障中，虽然故障同名相电流不相等，但幅值相等，所以这种情况下电流平衡保护不会选出故障同名相。

## 四 结 论

本文利用六序复合序网法分析了同杆双回线的故障中的一些特殊问题，主要分析了在特殊故障中，两健全同名相电流以及两故障同名相电流是否相等，以及影响这个同名相之间差电流的因素，结果发现：

1. 在单回线接地故障和跨线故障中，如果 $C_{F1} \neq C_{F0}$ ，则健全同名相电流不相等。
2. 在断线及断线接地故障中，如果 $Z_{F1} \neq Z_{F0}$ ，则健全同名相电流不相等。
3. 在非同名跨线故障中，如果 $Z_{F1} \neq Z_{F0}$ ，则故障同名相电流不相等。

通过对这些特殊问题的分析，简要地讨论了横联保护由于这些特殊问题的影响，而存在的一些问题，为我们改进这些保护和研制新的同杆双回线保护提供了理论依据。

另外说明一下，在本文的分析过程中，假设了同杆双回线的六序阻抗角相等，讨论的结果都是对故障分量而言的，这些假设仅仅是为了分析方便，而且在一般情况下，本文中的结论还是具有普遍意义，理论分析及动模实验都说明了这一点。

## 参 考 文 献

- [1] 葛耀中等。同杆双回线的故障特点和继电保护问题。《电力自动化设备》。1989(2)
- [2] 索南、葛耀中等。六序故障分量及其在同杆双回线的故障特点。《电力系统自动化》。1989(4)
- [3] 索南、葛耀中等。利用六序分量复合序网法分析同杆双回线故障的新方法。中国电机工程学会继电保护研讨会论文。1990(5)