利用故障录波计算故障点的方法

陕西汉中供电局　龙小祥

摘要

目前，故障录波屏在电力系统中的应用越来越广，为故障分析、处理及保护装置的研究提供了可靠的依据。本文从系统零序网络出发，综述了在系统发生接地故障时，利用录波所得的零序分量计算故障点的方法，为排除故障提供了准确的判据。

一　问题的提出

当线路发生故障后，无论是永久性故障还是瞬时性故障，都需要派出大量人员寻找故障点进行处理，这样不但不能保证快速消除故障，恢复正常运行，而且增加了工人的劳动强度，降低了经济效益。那么，是否在故障发生后能够准确地判断出故障位置呢？故障录波屏的使用为我们提供了一个有利条件。

大电流接地系统中，接地故障占总故障次数的大多数，而接地性故障出现了独特的零序分量。下面就介绍利用故障时零序分量来计算接地故障点位置的方法。

二　已知故障线路两侧零序分量

1．无互感线路：

如图1所示零序网络，设线路ij在距节点ir处故障，则：

$$\begin{cases} U_k = U_i + I_i rZ \\ U_k = U_j + I_j(1-r)Z \end{cases} \qquad (1—1)$$

由（1—1）式得：

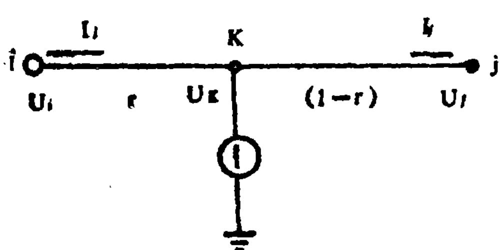
$$r = \frac{U_i - U_j - I_j Z}{-(I_i + I_j)Z} \qquad (1—2)$$

式中：　Z——故障线路的零序总阻抗；

$U_i U_j$——故障时节点i、j的零序电压；

$I_i I_j$——故障线路i、j两侧零序电流；

2．有互感平行线路：



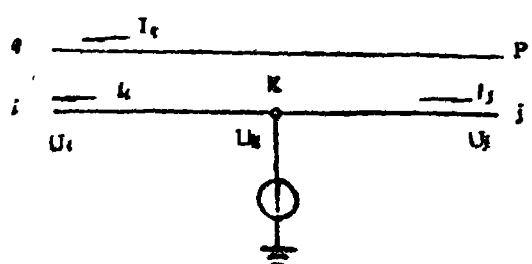


图 1　　　　图 2

如图2所示零序网络，设线qp和ij之间有互感。

则：

$$\begin{cases} U_K - U_i = I_i \cdot rZ + I_q Z_M r \\ U_K - U_j = I_j(1-r)Z - I_q(1-r)Z_M \\ U_p - U_q = I_q Z_3 + I_i r Z_M - I_j(1-r)Z_M \end{cases} \quad (2-1)$$

式中：Z_3——线路qp的零序自阻抗；

Z_M——线路qp和线路ij的零序互阻抗；

Z——线路ij的零序自阻抗；

由（2—1）式得：

$$U_p - U_q = \frac{U_j - U_i + I_j Z_2 - I_i Z_1}{Z_M} \cdot Z_3 + I_i Z_{M1} - I_j Z_{M2} \quad (2-2)$$

式中：$Z_1 = rZ$，$Z_2 = (1-r)Z$，$Z_{M1} = rZ_M$，$Z_{M2} = (1-r)Z_M$

如果iq和pj为两个节点，可用（2—2）式求出距离r。

当从故障点k注入单位电流时：

$$\begin{cases} Z_{kk} - Z_{ki} = I_i' Z_1 + I_q' Z_{M1} \\ Z_{kk} - Z_{kj} = I_j' Z_2 - I_q' Z_{M2} \\ Z_{kp} - Z_{kq} = I_q' Z_3 + I_i' Z_{M1} - I_j' Z_{M2} \\ I_i' + I_j' = 1 \end{cases} \quad (2-3)$$

式中：Z_{kk}——故障点k的节点零序自阻抗；

$Z_{ki} \cdot Z_{kj} \cdot Z_{kq} \cdot Z_{kp}$——分别为故障点k与节点i、j、q、p的零序互阻抗；

$I_i' \cdot I_j' \cdot I_q' \cdot I_p'$——分别为故障点k注入单位电流时的$I_i$、$I_j$、$I_q$和$I_p$。

由（2—3）式求得：

$$I_i' = [Z_M(Z_{kp} - Z_{kq}) - Z_3(Z_{kj} - Z_{ki}) - (1-r)(Z \cdot Z_3 - Z_M^2)]/(Z_M^2 - Z \cdot Z_3) \quad (2-4)$$

$$I_j' = 1 - I_i' \quad (2-5)$$

由齐性原理可知：

$$\frac{I_i}{I_i'} = \frac{I_j}{I_j'} \quad (2-6)$$

将（2—4）、（2—5）式代入（2—6）式得：

$$\frac{Z_M^2 - Z Z_3}{1+\mu} = Z_M(Z_{kp} - Z_{kq}) - Z_3(Z_{kj} - Z_{ki}) - (1-r)(ZZ_3 - Z_M^2) \quad (2-7)$$

式中：$\mu = \frac{I_j}{I_i}$

又：

$$\begin{cases} Z_{ki} = (1-r)Z_{ii} + rZ_{ij} \\ Z_{kj} = (1-r)Z_{ij} + rZ_{jj} \\ Z_{kq} = (1-r)Z_{iq} + rZ_{jq} \\ Z_{kp} = (1-r)Z_{ip} + rZ_{jp} \end{cases} \quad (2-8)$$

式中：Z_{ii}——节点i的零序自阻抗；

Z_{jj}——节点j的零序自阻抗；

Z_{ij}——节点ij间的零序互阻抗；

Z_{iq}——节点iq间的零序互阻抗；

Z_{jq}——节点j、q间的零序互阻抗；

Z_{ip}——节点i、p间的零序互阻抗；

Z_{jp}——节点jp间的零序互阻抗。

将（2—8）式代入（2—7）式得：

$$r=\frac{\dfrac{Z_M^2-ZZ_3}{1+\mu}-\left[Z_M(Z_{ip}-Z_{iq})-Z_3(Z_{ij}-Z_{ii})-(ZZ_3-Z_M^2)\right]}{Z_M(Z_{jp}-Z_{jq}-Z_{ip}+Z_{iq})-Z_3(Z_{jj}-2Z_{ij}+Z_{ii})+ZZ_3-Z_M^2} \qquad (2—9)$$

三　已知线路单侧零序分量

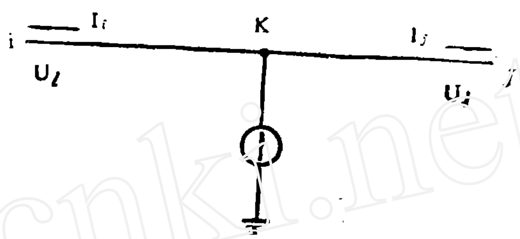


图 3

1．无互感线路

如图3所示零序网络，当故障点k注入单位电流时：

$$U_i'=Z_{ki}、U_j'=Z_{kj}、I_i'+I_j'=1$$

故障时：$U_i/U_i'=k$　　$U_j/U_j'=k$　　$I_i+I_j=k$

则：

$$\begin{cases} I_j=\dfrac{U_i}{Z_{ki}}-I_i \\ U_j=\dfrac{U_i}{Z_{ki}}-Z_{kj} \end{cases} \qquad (3—1)$$

$$U_i-U_j=-I_iZ_1+I_jZ_2 \qquad (3—2)$$

把（3—1）式代入（3—2）式得：

$$1-\frac{Z_2+Z_{ki}}{Z_{ki}}=-\frac{Z}{Z_i} \qquad (3—3)$$

式中：　$Z_i=\dfrac{U_i}{I_i}$——故障时节点i的零序电压与零序电流之比

把（2—8）式中Z_{kj}、Z_{ki}代入式（3—3）得：

$$r=\frac{Z_i(Z_{ii}--Z2Z_{ij})+ZZ_{ii}}{Z_i(Z_{ii}-2Z_{ij}-Z+Z_{jj})+Z(Z_{ii}-Z_{ij})} \qquad (3—4)$$

2．有互感平行线路：

由 $\dfrac{I_i}{I_i'}=\dfrac{U_i}{U_i'}$得：

$$\begin{cases} I_i=\dfrac{U_i}{U_i'}\cdot I_i' \\ U_i'=Z_{ki} \end{cases} \qquad (3—5)$$

把（3—5）式代入（2—4）式得：

$$I_i\left[(1-r)Z_{ii}+rZ_{ij}\right]=U_i\frac{Z_M(Z_{kp}-Z_{kq})-Z_3(Z_{kj}-Z_{ki})-(1-r)(ZZ_3-Z_M^2)}{Z_M^2-ZZ_3} \qquad (3—6)$$

把（2—8）式代入（3—6）式得：

$$(1-r)Z_{ii}(Z_M^2-ZZ_3)+r(Z_{jp}-Z_{jq})Z_{ij}=Z_i\Big\{(1-r)[Z_M(Z_{ip}-Z_{iq})$$

$$-Z_3(Z_{ij}-Z_{ii})-(ZZ_3-Z_M^2)]+r[Z_M(Z_{jp}-Z_{jq})-Z_3(Z_{jj}-Z_{ij})]\Big\}$$

由此式求得：

$$r=\frac{Z_MZ_i(Z_{ip}-Z_{iq})-Z_3Z_i(Z_{ij}-Z_{ii})-Z_i(ZZ_3-Z_M^2)+Z_{ii}(ZZ_3-Z_M^2)}{Z_MZ_i(Z_{ip}-Z_{iq}-Z_{jp}+Z_{jq})+Z_3Z_i(Z_{jj}-2Z_{ij}+Z_{ii})+(Z_M^2-ZZ_3)(Z_{ij}-Z_{ii}+Z_i)}$$

四　实例

1．某系统的零序网络如图4所示，当k点发生单相短路时，求得：

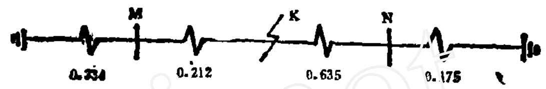


图4

$U_{M(0)}=0.202$、　$I_{Mk(0)}=0.605$、

$U_{N(0)}=0.0703$、　$I_{Nk(0)}=0.409$

由此求得故障点距M点的距离为：

$$r=\frac{0.202-0.0703-0.409\times0.847}{-(0.605+0.409)\times0.847}=25\%\text{（线路总长百分数）}$$

实际故障隔离：$r'=\dfrac{0.212}{0.212+0.635}=25.2\%$

2．某系统的零序网络如图5所示，当k点发生单相短路时，求得：

$U_{2(0)}=0.1778$、　$I_{2-F(0)}=1.1868$　节点零序阻抗矩阵：

$$Z^{(0)}=\begin{array}{c|ccc} & ① & ② & ③ \\ ① & 0.1354 & 0.0598 & 0.086 \\ ② & 0.0598 & 0.11 & 0.0679 \\ ③ & 0.086 & 0.0679 & 0.152 \end{array}$$

$Z=0.1814+0.121=0.3024$

$Z_{22}=0.11$、$Z_{21}=0.0598$

$Z_{11}=0.1354$　$Z_2=\dfrac{0.1778}{1.1868}=0.1493$

由此求得r：$r=40.05\%$。

实际距离：$r'=40.01\%$。

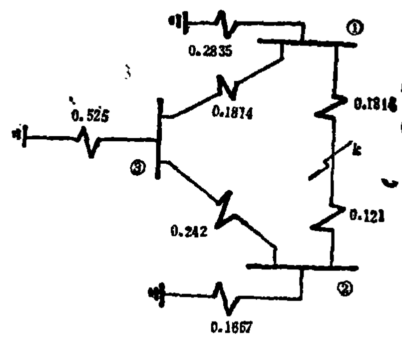


图5

五　结论

由上述讨论可知，整个计算过程只使用零序网络，也无需事先判别是单相接地还是两相接地故障，计算结果不受故障点过渡电阻的影响，具有简单、准确的优点

参考文献

1．《电力系统故障分析》　华北电力学院主编

2．《电力系统自动化》　电力系统接地故障点的分析计算方法　王广学　1986年第4期P34～39