

④ 16-20

# 环网中输电线路故障点的定位算法

## A Fault Location Algorithm for Transmission Lines in Circle Network

韩永国<sup>①</sup>

Han Yongguo

钟岷秀<sup>②</sup>

Zhong Minxiu

TM773

(<sup>①</sup>西南工学院信控系,绵阳,621002; <sup>②</sup>重庆大学电气工程系;第一作者 29岁,男,硕士)

**摘要** 提出了环形电网中输电线路的故障点定位法,该法使用本地信息,定位精度不受负荷电流、过渡电阻和故障线对侧系统阻抗变化的影响。数字仿真结果令人满意。

**关键词** 故障定位; 输电线路; 本地信息

中国图书资料分类法分类号 TM773

环形电网

**ABSTRACT** A fault location algorithm for transmission lines in circle network is presented. The algorithm uses local data. Its location accuracy is independent of power flow, transient resistance and variation of remote system impedance. Simulation results are satisfactory.

**KEYWORDS** fault location; transmission lines; local information

### 0 引言

目前,故障点定位都采用双端电源系统模型。实际上,高压及超高压电网的大多数线路处于环网结构中运行。如果利用线路双端信息计算故障点位置,一般说来可不考虑电网结构,且能达到精确定位<sup>[1,3]</sup>。如果利用本地信息计算故障点位置,基于双端电源系统模型的算法就难以适应环网结构。为此笔者提出一种使用本地信息的环形电网中输电线路的故障点定位算法。

### 1 算法原理

设三角形环网如图1所示,由变电站M、N、P和线路1、2、3组成。变电站M、N、P的等值正序阻抗为 $Z_M$ 、 $Z_N$ 、 $Z_P$ ;等值零序阻抗为 $Z_{M0}$ 、 $Z_{N0}$ 、 $Z_{P0}$ 。线路1、2、3的长度为 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ ;单位长度正序阻抗为 $z_{11}$ 、 $z_{21}$ 、 $z_{31}$ ;单位长度零序阻抗为 $z_{10}$ 、 $z_{20}$ 、 $z_{30}$ 。

设故障点定位装置安装在变电站M,以 $L_1$ 线故障

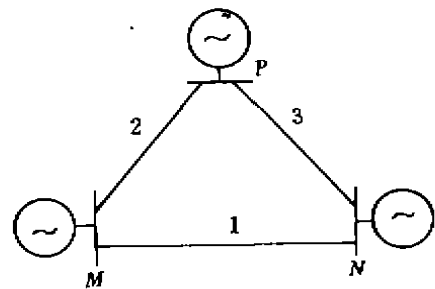


图1 三角形环网

为例分析,  $L_2$  线故障的算法类似。A 相经过渡电阻  $R_f$  接地的系统图及等值图如图 2,  $I_{MFj}$  表示线  $M$  侧  $j$  序电流故障分量,  $U_{MFj}$  表示  $M$  侧  $j$  序电压故障分量,  $j = 0, 1, 2$ 。

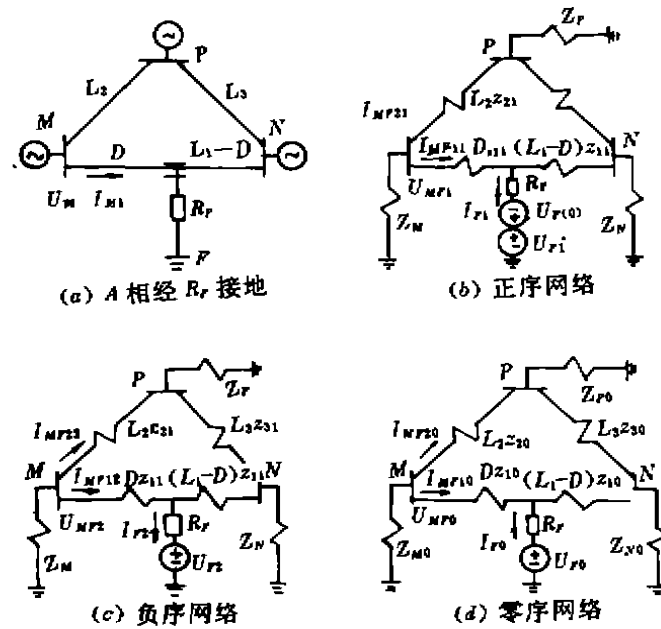


图 2 单相接地及等值电路

由图 2 可得式(1)~(6)

$$U_{M1} = DZ_{L1}I_{M11} + R_f I_{F1} + U_{F1} \tag{1}$$

$$U_{M2} = DZ_{L1}I_{M12} + R_f I_{F2} + U_{F2} \tag{2}$$

$$U_{M0} = DZ_{L0}I_{M10} + R_f I_{F0} + U_{F0} \tag{3}$$

$$I_{F1} = (C_{11}I_{MF11} - C_{21}I_{MF21}) / (1 - D/L_1) \tag{4}$$

$$I_{F2} = (C_{11}I_{MF12} - C_{21}I_{MF22}) / (1 - D/L_1) \tag{5}$$

$$I_{F0} = (C_{10}I_{MF10} - C_{20}I_{MF20}) / (1 - D/L_1) \tag{6}$$

其中

$$C_{11} = 1 - L_3z_{31}Z_M / (L_1z_{11}Z_F);$$

$$C_{21} = (L_2z_{21} + L_3z_{31}) / (L_1z_{11}) + L_3z_{31}(L_2z_{21} + Z_M) / (L_1z_{11}Z_P);$$

$$C_{10} = 1 - L_3z_{30}Z_{M0} / (L_1z_{10}Z_{F0});$$

$$C_{20} = (L_2z_{20} + L_3z_{30}) / (L_1z_{10}) + L_3z_{30}(L_2z_{20} + Z_{M0}) / (L_1z_{10}Z_{P0}).$$

$U_{M1}, U_{M2}, U_{M0}$  为  $M$  侧电压正、负、零序分量;  $I_{M11} = I_{M1} + I_{MF11}$  为  $L_1$  线正序电流;  $I_{M1}$  为线路 1 负荷电流。

计及单相接地的边界条件, 由式(1)(2)(3) 可得

$$U_M = Dz_{11}(I_{M1} + K_0 I_{MF10}) + 3R_f I_{F2} \tag{7}$$

其中  $U_M = U_{M1} + U_{M2} + U_{M0}$  为  $M$  侧故障相电压;  
 $I_{M1} = I_{M11} + I_{MF12} + I_{MF10}$  为线路 1 故障相电流;  
 $K_0 = (z_{10} - z_{11}) / z_{11}$  为线路 1 零序电流补偿系数。

令

$$\begin{aligned} U_r &= U_M; \quad I_r = I_{M1} + K_0 I_{MF10}; \quad Z_r = U_r / I_r = |Z_r| \angle \theta_r; \\ K_1 &= I_r / (3I_{r2}) = |K_1| \angle \theta_1. \end{aligned} \quad (8)$$

式(7)可写为

$$Z_r = Dz_{11} + R_f / (|K_1| \angle \theta_1) \quad (9)$$

把式(9)画为相量图 3, 由正弦定理可得定位计算公式(10)

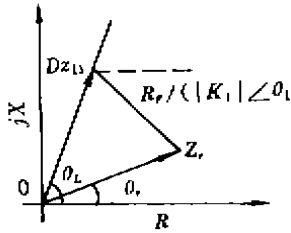


图 3  $Z_r$  阻抗相量图

$$D = |Z_r| / |z_{11}| \sin(\theta_r + \theta_1) / \sin(\theta_L + \theta_1) \quad (10)$$

其中,  $\theta_1$  可由式(8)和式(5)计算

$$\theta_1 = \arg[I_r / (C_{11} I_{MF12} - C_{21} I_{M12})] \quad (11)$$

BC 两相短路时, 式(1)(2)(4)(5) 仍成立, 考虑 BC 两相短路的边界条件, 可得

$$U_{M1} - U_{M2} = Dz_{11}(I_{M11} - I_{MF12}) + R_f(I_{F1} - I_{F2}) \quad (12)$$

令

$$\begin{aligned} U_r &= U_{M1} - U_{M2}; \quad I_r = I_{M11} - I_{MF12}; \quad Z_r = U_r / I_r = |Z_r| \angle \theta_r; \\ K_1 &= I_r = (I_{F1} - I_{F2}) = |K_1| \angle \theta_1. \end{aligned} \quad (13)$$

由式(12)可得与式(9) 相同形式的  $Z_r$  表达式, 从而可得式(10) 的定位计算式。但由式(13)和式(4)(5) 可知,  $\theta_1$  按下式计算

$$\theta_1 = \arg[I_r / (C_{11}(I_{MF11} - I_{MF12}) - C_{21}(I_{MF21} - I_{M122}))] \quad (14)$$

事实上, 以上关于两相短路的讨论也适用于两相短路接地和三相短路。在三相短路时, 实际负序电压、负序电流为零, 这不影响定位计算结果。

## 2 定位公式的讨论

由式(9) 可见, 笔者提出的定位算法, 不需迭代即可求出故障点位置, 定位精度不受负荷电流、过渡电阻、故障线对侧系统阻抗变化的影响, 仅受第三侧系统阻抗变化的影响。

单相接地时, 若  $|C_{11} I_{M12} - C_{21} I_{M122}| = 0$ , 或相间短路时, 若  $|C_{11}(I_{MF11} - I_{MF12}) - C_{21}(I_{M121} - I_{M122})| = 0$ , 则定位公式失效。

$-I_{MF22}| = 0$ , 不能由式(11)或式(14)式算出  $\theta_1$ , 式(10)失效。此时, 由图 2 或式(4)(5)可知  $D = L_1$ 。

若  $Z_N$  与  $Dz_{11}$  可能在一条直线上, 即  $\theta_L + \theta_1 = 0$  或  $180^\circ$ 。此时, 可按式(15)计算故障点位置。

$$D = L_1 - L_1 \operatorname{Re}[(C_{11} - C_{21}I_{MF21}/I_{MF11})C_2] \quad (15)$$

其中,  $\operatorname{Re}[\ ]$  表示取实部。

$$C_2 = I_{MF11}/(C_{11}I_{MF11} + C_{21}I_{MF21})$$

$$C_{11} = 1 + Z_M(Z_N + Z_P + L_3z_{31}) / (Z_N Z_P)$$

$$C_{21} = 1 + (Z_M + C_{21}I_{L1}z_{11}) / Z_N + (Z_M + L_2z_{21}) / Z_P$$

式(15)的定位精度受  $Z_N$  和  $Z_P$  变化的影响, 仅作为  $\theta_L + \theta_1 = 0$  或  $180^\circ$  时的补充定位公式。

当变电站  $P$  无电源, 式(9)仍适用, 但  $C_{11}, C_{21}$  为:

$$C_{11} = 1$$

$$C_{21} = (L_2z_{21} + L_3z_{31}) / (L_1z_{11})$$

当变电站  $P$  中性点不接地时,  $C_{10}, C_{20}$  为:

$$C_{10} = 1$$

$$C_{20} = (L_2z_{20} + L_3z_{30}) / (L_1z_{10})$$

当变电站  $N$  无电源或中性点不接地时, 情况类似。

当环网由多边形构成时, 可化简为三角形环网, 进而可使用本文的方法计算故障点位置。

### 3 仿真计算结果

我们对式(10)进行了较详细的仿真计算。所用其中一组电网参数为:

$$L_1 = 100 \text{ km}; \quad L_2 = 80 \text{ km}; \quad L_3 = 50 \text{ km};$$

$$z_{11} = z_{21} = z_{31} = 0.4 \angle 75^\circ (\Omega/\text{km}); \quad z_{10} = z_{20} = z_{30} = 1.4 \angle 75^\circ (\Omega/\text{km});$$

$$Z_M = 1 \angle 87.5^\circ (\Omega); \quad Z_{M0} = 1.5 \angle 87.5^\circ (\Omega);$$

$$Z_N = 10 \angle 87.5^\circ (\Omega); \quad Z_{N0} = 15 \angle 87.5^\circ (\Omega);$$

$$Z_P = 10 \angle 87.5^\circ (\Omega); \quad Z_{P0} = 15 \angle 87.5^\circ (\Omega);$$

$$E_M = 135 \text{ kV}; \quad E_N = E_M \angle 60^\circ; \quad E_P = E_M \angle -30^\circ.$$

线路 1 经  $R_L = 50 \Omega$  单相接地的仿真结果见表 1。其中,  $K_a = Z_N$  实际值 /  $Z_N$  计算使用值;  $K_P$

$= Z_p$  实际值 /  $Z_p$  计算使用值;  $D_0$  为设定距离。

从表 1 可知, 式(10)的定位精度不受负荷电流、过渡电阻及对侧系统阻抗变化的影响。仅当第 3 侧系统阻抗的计算使用值与实际值相差很大时, 线路末端的定位计算可能出现较大误差。因此, 第 3 侧系统阻抗的计算使用值应选取典型值。

表 1 仿真结果

$D_0$		0.00	33.00	66.00	99.99
$K_n = 1$	$K_F = 1$	0.00	33.00	66.00	99.00
	$K_F = 4$	0.08	33.07	66.01	99.63
$K_n = 4$	$K_F = 1$	0.00	33.00	66.00	99.00
	$K_F = 1/4$	0.20	32.52	64.59	90.08

当  $\theta_L + \theta_1$  接近于零时, 用式(10)、式(15)进行了仿真计算, 其中一组参数是将上列系统参数改为:  $Z_M = 10 \angle 90.0^\circ$ ,  $Z_{M0} = 15 \angle 90.0^\circ$ ,  $E_N = E_M \angle -60^\circ$ ,  $E_F = E_M \angle -30^\circ$ ,  $K_n = 1$ ,  $K_F = 1$ , 仿真结果见表 2。

表 2 仿真结果

$D_0$	$(\theta_L + \theta_1) / (^\circ)$	D 式(10)	D 式(15)
51.505 20	0.000 07	36.452 03	51.505 21
51.505 24	0.000 00	325.062 20	51.505 25
51.505 30	-0.000 11	60.416 21	51.505 29

## 4 结 论

1) 使用本地信息进行环形电网中输电线路故障点定位的算法, 可用于三角形和多边形环网。

2) 理论分析和数字仿真结果表明, 本文算法的定位精度不受负荷电流、过渡电阻和故障线对侧系统阻抗变化的影响, 仅受第三侧系统阻抗变化的影响。

## 参 考 文 献

- 1 Cook V. Fundamental aspects of fault location algorithms used in distance protection. IEE Proc-C, 1986, 133(6): 359~368
- 2 Sachdev M S, Agarwal R. A technique for estimating transmission line fault locations from digital impedancerelay measurements. IEEE Trans on PWRD, 1988, 3(1): 121~129
- 3 蔡德礼, 叶一麟. 系统参数变化对输电线路故障测距精度的影响. 重庆大学学报, 1984, 7(4): 70~78