高阻接地短路的精确测距方法

王　锋　于九祥
（山东工业大学电力系　250061　济南）

别朝红
（西安交通大学　710049）

摘　要　提出一种高阻接地时，利用单端参数进行精确测距的方法。该法只需利用流过保护安装处的故障相的序参数，经过简单处理即可得到故障距离。大量仿真实验证明，此方法测距的最大误差小于 3%，平均误差为 1.2%，而且运算量小，特别适于实时计算。

关键词　单端参数　单相高阻接地故障　故障测距

0　引言

目前，利用单端参数进行故障测距的算法很多，文献[1]进行了综述，列举了有代表性的 6 种算法：① 解微分方程法，② 采用傅氏变换和拉氏变换的算法，③ 实时对称分量法，④ 零序电流修正法；⑤ 零序电流相位修正法，⑥ 解方程法。⑥无法区别根的真伪，实际中应用较少；②、③、④虽然原理不同，但计算中都利用了保护安装处测得的电流和故障支路总电流同相位这一假定，实践证明其测距结果均不理想；⑤考虑了两者存在的相位差，经多次迭代逼近运算，相位差逐渐收敛至真值，测距结果也逐渐逼近真值，该法计算精度较高，但每次迭代都需求解多个三角函数和反三角函数，大大增加了计算时间，只能用于故障测距；①算法最简单，运算最快，可兼作保护和测距用。但是，①方法存在原理误差，高阻接地短路时的测距结果难以做到精确，因而适用于对测距要求不高的场合和装置。

本文所提方法对上述算法的缺点进行了改进，可以在实现保护功能的同时获得精确的测距结果。

1　测距公式的推导

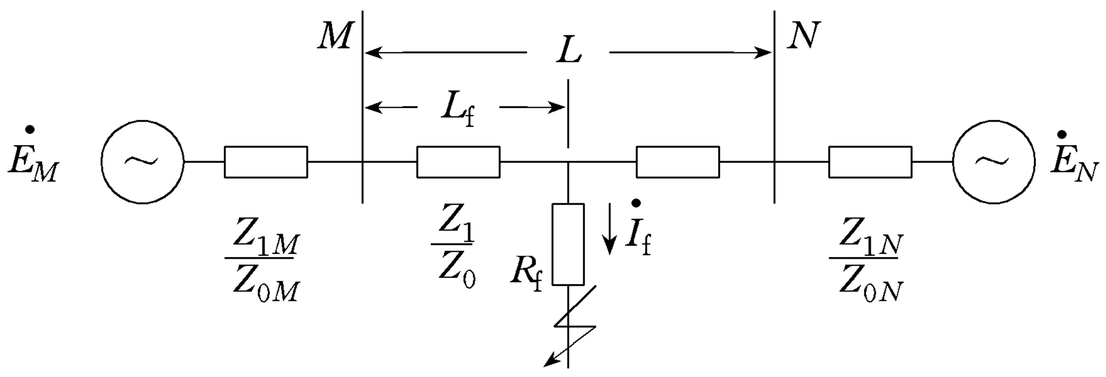

图1　两侧电源线路系统示意图
Fig. 1　Equivalent network for a system with power supply at both ends

在图 1 所示的高压输电网络中，Z_{1M}、Z_{0M}为 M 侧系统等值正序、零序阻抗；Z_{1N}、Z_{0N}为 N 侧系统等值正序、零序阻抗；Z_1、Z_0 为线路每公里正序、零序阻抗。忽略线路分布电容，当 A 相发生高阻接地时，有 $u_A = L_f R_1(i_A + K_R 3i_0)$

$$+ L_f L_1 \frac{d(i_A + K_L 3i_0)}{dt} + R_f i_f \qquad (1)$$

式中　u_A、i_A、i_0 分别是保护安装处实测的 A 相电压、电流及零序电流；R_1、L_1 分别为线路每公里电阻和电感；K_R、K_L 分别为零序电阻补偿系数和零序电感补偿系数。

记故障处零序电流为 i_{f0}，则有

$$R_f i_f = R_f \cdot 3i_{f0} = R_f \cdot 3 \frac{i_0}{K_{0m}}$$

式中　K_{0m}为零序电流分布系数。

令 $R_f' = R_f/K_{0m}$，则(1) 式变为

$$u_A = L_f R_1(i_A + K_R \cdot 3i_0)$$

$$+ L_f L_1 \frac{d(i_A + K_L \cdot 3i_0)}{dt} + R_f' \cdot 3i_0 \qquad (2)$$

返回到(1)式，i_f 在保护安装处无法直接获得，但可用另一电流 $i_f' = \Delta i - i_0 = i_1 + i_2$($\Delta i$ 为电流故障分量) 代替之。由于是单相故障，所以流过故障支路中的故障相电流 $\dot{I}_f$ 与其各序分量 $\dot{I}_{f1}$、$\dot{I}_{f2}$ 和 $\dot{I}_{f0}$ 同相。在高压电网中，线路与发电机和变压器的正、负序阻抗角十分接近，而零序阻抗角相差较大，所以 $\dot{I}_1$、$\dot{I}_2$ 与 $\dot{I}_{f1}$、$\dot{I}_{f2}$ 比 $\dot{I}_0$ 与 $\dot{I}_{f0}$ 更接近同相，于是 $\dot{I}_f'$ 与 $\dot{I}_f$ 接近同相，所以可用 i_f' 代替 i_f 进行计算。

由以上分析，$i_f' = i_1 + i_2 = 2i_1 = 2K_{1m} i_{f1}$，($K_{1m}$为正序电流分布系数)，所以

$$R_f i_f = R_f 3i_{f0} = R_f 3i_{f1} = R_f \frac{3i_f'}{2K_{1m}} = (i_1 + i_2) \frac{3R_f}{2K_{1m}}$$

令 $R_f'' = 3R_f/(2K_{1m})$，将上式代入(1) 式，得

1995－09－25 收稿，1996－08－27 改回。

$$u_A = L_f R_1(i_A + K_R 3i_0) + L_f L_1 \frac{d(i_A + K_L 3i_0)}{dt} + (i_1 + i_2)R_f'' \quad (3)$$

设 $K = R_f''/R_f'$，则 $K = 3K_{0m}/(2K_{1m})$，

又 $K_{0m} = (Z_0 L + Z_{0N} - Z_0 L_f)/(Z_{0M} + Z_{0N} + Z_0 L)$，

$K_{1m} = (Z_1 L + Z_{1N} - Z_1 L_f)/(Z_{1M} + Z_{1N} + Z_1 L)$

故可解出故障距离

$$L_f = (A B - C K)/(A Z_0 - Z_1 K) \quad (4)$$

其中 $A = \frac{3}{2}\frac{Z_{1M} + Z_{1N} + Z_1 L}{Z_{0M} + Z_{0N} + Z_0 L}$，

$B = Z_{0N} + Z_0 L$

$C = Z_{1N} + Z_1 L$

它们都可离线算出，由(2)、(3)式又可知

$$K = \frac{3i_0}{i_1 + i_2}$$

所以利用保护安装处故障相的序电流，经简单的在线计算即可确定故障点至保护安装处的距离。

2 分析

2.1 零序电流分布系数的影响

由测距公式的推导可看出，零序电流分布系数的引入影响了 R_f'，进而影响了 K 值。但由(4)式可知，K 同时存在于分子与分母中，这实际上类似于零序电流相位修正法的迭代计算，是对保护安装处所测电流和故障支路总电流同相位这一假定的一种处理，因而削弱了零序电流分布系数对测距的影响，仿真结果也证明了这一点。

2.2 φ 角对测距的影响

本方法的一个特点是用 $i_f'(i_1 + i_2)$ 代替 $i_f(3i_{f0})$ 求得故障距离，令 φ 为 $(\dot{I}_1 + \dot{I}_2)$ 和 $\dot{I}_{f0}$ 的相位差，下面通过与文献[2]所用方法相对比来说明 φ 对测距精度的影响。

文献[2]所用的方法是用 $3i_0$ 代替 i_{f0}，令 $\dot{I}_0$ 与 $\dot{I}_{f0}$ 的相位差为 φ_0，仍用图 1 所示的仿真网络，可得 φ_0、φ 与 L_f 的对应关系如表 1。

表 1 φ_0、φ 和 L_f 间的关系

Table 1 The relation between φ_0, φ and L_f

L_f/km	φ_0/(°)	φ/(°)
0	−10.5	0.570
75.28	−9.110	0.304
150.52	−7.623	0.010
263.48	−2.524	0.606
289.53	0.000	0.732
301.12	1.491	0.849
338.76	9.842	1.120
376.4	15.234	1.435

由表 1 可看出，φ_0 的摆动范围为 25°左右，而 φ 的摆动范围不超过 2°，故对本方法而言，由分布系数相角对测距产生的影响可近似消除，从而大大提高了测距精度。

3 仿真实验结果

使用 EMTP 程序，对山东邹县—潍坊 500 kV、376.4 km 输电线路进行各种情况的仿真运算，均得到了满意的结果。

仿真网络见图 1，网络参数为：Z_{1M} = j112.6 Ω、Z_{0M} = j200 Ω、Z_{1N} = j173.2 Ω、Z_{0N} = j60 Ω、Z_1 = 0.026 + j0.287 Ω、Z_0 = 0.224 + j1.021 Ω、L = 376.4 km 。

在全长 50%处发生 A 相接地故障，过渡电阻分别为 0、50、100、150、200、250、300 Ω 时，进行测距计算，结果列于表 2。

表 2 R_f 和测距误差间的关系

Table 2 The relation between R_f and location error

R_f/Ω	K 值	最大误差/(%)
0	1.644	1.330
50	1.640	1.690
100	1.656	0.230
150	1.678	−1.84
200	1.680	−2.03
250	1.662	−0.33
300	1.648	−0.96

由表 2 看出，随着过渡电阻的增大，测距误差逐渐由正误差变为负误差，最大误差为−2.03%，平均误差为 1.20%。

过渡电阻分别为 100、200、300 Ω 时，在仿真线路上每隔 37.64 km 设置一短路点，由 EMTP 程序计算所得数据可绘出如图 2、3、4 所示的测距误差曲线(以 A 相为例)。

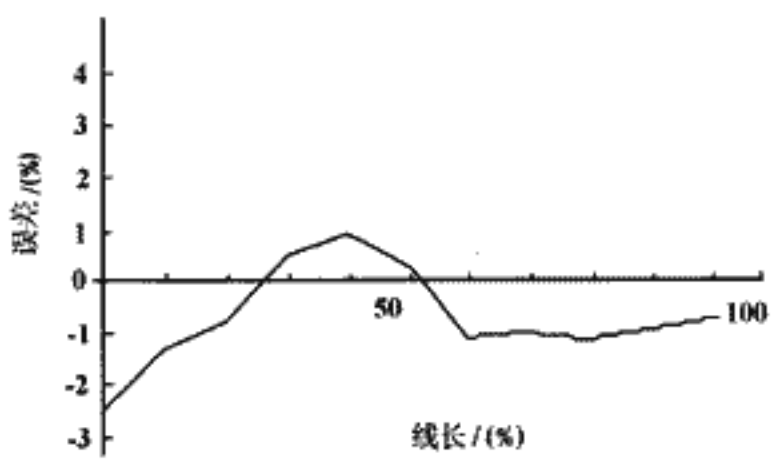

图 2 经 100 Ω 短路的测距误差曲线

Fig. 2 Location error curve for phase-ground fault through 100 Ω

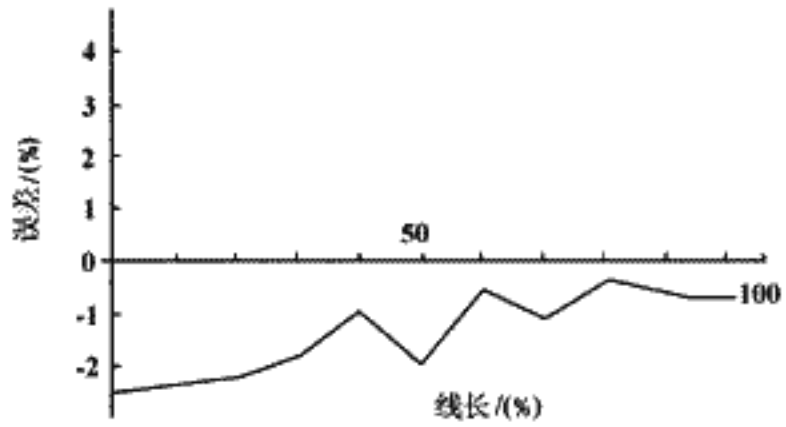

图 3 经 200 Ω 短路的测距误差曲线
Fig. 3 Location error curve
for phase-ground fault through 200 Ω

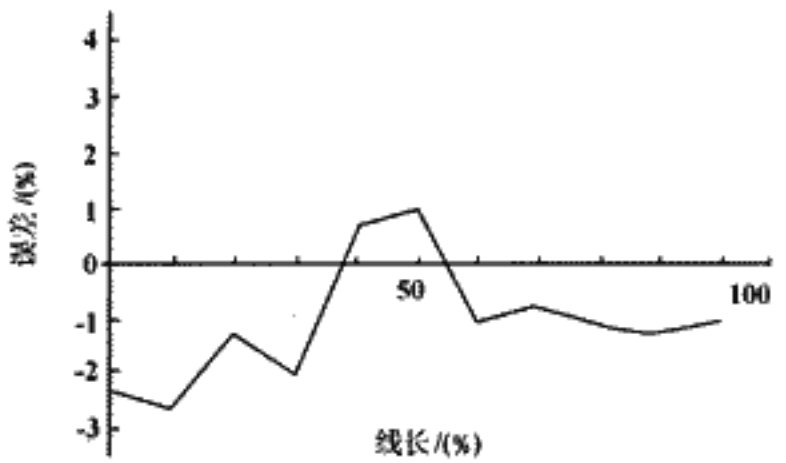

图 4 经 300 Ω 短路的测距误差曲线
Fig. 4 Location error curve
for phase-ground fault through 300 Ω

4 结论

本文所用方法简单实用，具有以下显著特点：

(1) 能较好地克服过渡电阻的影响，在不同故障点经不同过渡电阻接地时测距的最大误差均小于3%，平均误差为1.2%；

(2) 用i_f'代替i_f可基本消除分布系数相角的影响，进而大大提高了测距精度；

(3) 仅利用保护安装处故障相的序电流(可通过硬件直接获得)，经简单处理即可确定故障距离，因而计算量小，更适于实时计算；

(4) 兼顾了测距的精度和速度两个方面，集中了解微分方程法和零序电流相位修正法的优点，既可实现快速的保护功能，又可获得精确的测距结果。因此，对用单片机构成的兼有测距功能的微机保护装置，该方法不失为一种可选方法。

5 参考文献

1 肖东晖等. 架空输电线路故障测距方法综述. 电力系统自动化，1993，17(8)

2 Wiszniewski A. Accurate Fault Impedance Locating Algorithm. IEE Proc. 1983，130(6)

王 锋，1972年生，硕士研究生。

于九祥，1939年生，教授，主要研究计算机继电保护和卡尔曼滤波技术

别朝红，1970生，博士研究生。

ACCURATE FAULT LOCATION TECHNIQUE FOR PHASE-GROUND FAULT THROUGH HIGH-IMPEDANCE

Wang Feng, Yu Jiuxiang (Shandong University of Technology. 250061. Ji'nan. China)
Bie Zhaohong (Xi'an Jiaotong University. 710049. Xi'an. China)

Abstract This paper presents an accurate location technique for phase-ground fault through high-impedance using one terminal parameters. With sequence parameters of the fault phase at the relay only. fault distance can be easily achieved after simple calculation. A number of simulation tests show this technique has not only the high accuracy. with maximum error of less than 3 percent and average error 1.2 percent respectively. but also the advantage of less computational efforts. which makes it very suitable for the real-time calculation.

Keywords one terminal parameters phase-ground fault through high-impedance fault location