

基于相位特性的高压输电线路双端非同步故障测距算法

陈旭¹, 朱永利¹, 郭小红¹, 高艳丰¹, 赵磊¹, 赵雪松²

(1. 华北电力大学电气与电子工程学院, 河北省保定市 071003; 2. 国网冀北电力有限公司检修分公司, 北京市 102488)

摘要: 现有的大部分双端数据不同步测距算法由于伪根的存在可能导致测距失败。针对这一不足, 基于线路分布参数模型, 利用电压正序分量与负序分量的比值或者电压正序分量与故障正序分量的比值消除不同步角, 并利用相位的单调性进而推出一种双端非同步故障测距算法。该算法不存在伪根, 可以利用二分区间求根法或者弦截求根法快速求取故障距离。EMTP 仿真结果表明, 该算法测距精度不受过渡电阻、故障类型以及不同步角的影响, 计算量小, 测距精度高。

关键词: 双端不同步数据; 故障测距; 伪根; 高压输电线路

0 引言

输电线路故障后, 迅速准确的故障测距不仅对及时修复线路和保证可靠供电, 而且对电力系统的安全稳定和经济运行都有十分重要的作用^[1]。故障测距算法可分为行波测距^[2-5]和故障分析法测距^[6-9]。行波原理的测距存在波头识别、有测距死区和投资比较大等缺点, 故故障分析法原理上的测距获得广泛的应用。故障分析法又可分为单端和双端测距两种。单端测距算法在原理上无法消除过渡电阻和对端系统阻抗变化的影响, 测距误差比较大; 而双端测距算法则不受过渡电阻和对端系统阻抗变化的影响, 测距精度比较高。双端测距可分为同步测距与不同步测距。同步测距算法即使采用全球定位系统, 考虑到硬件延时等因素也很难做到完全同步。故不同步双端测距算法具有更广的应用价值^[6-18]。

国内外不少学者对双端不同步故障测距进行了探讨, 文献[6-8]采用集中参数建模, 对于长输电线路而言, 由于分布电容的存在, 测距误差比较大。文献[9-13]基于分布参数模型, 根据故障处电压幅值相等原理来建立测距方程, 对于伪根的判断利用故障点处相电压或者线电压幅值最小原理去除伪根, 但当经高阻短路时, 故障点处的电压有可能不是最小值, 从而无法判断伪根, 导致测距失败。文献[14-16]把不同步角、线路参数和故障距离当成未知量, 利用智能算法去求解。由于把不同步角设为 0° 作为初始值, 当两端数据的不同步角相差较大时,

迭代过程中很可能出现不收敛或收敛至伪根, 并且要想获得高精度的测距结果, 就必须进行大量的迭代运算, 故计算速度也不快。文献[17-18]依据叠加原理消去不同步角, 通过搜索或者解析表达式求出故障距离。由于方程是复数方程, 仍避免不了有伪根的存在。

针对上述缺点, 本文基于分布参数模型, 提出一种双端非同步测距新算法。该算法不存在伪根, 计算量小, 测距精度高, 具有较高的实用价值。

1 非同步测距新算法

1.1 测距原理

图1为双端线路故障示意图, 假设距 m 端 x 处的 f 点发生故障, 根据均匀传输线方程故障点 f 处的电压可以用两端电压、电流表示为:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{mfi}(x) &= \dot{U}_{mi} \cosh \gamma_i x - \dot{I}_{mi} Z_{ci} \sinh \gamma_i x \\ \dot{U}_{nfi}(x) &= \dot{U}_{ni} \cosh(\gamma_i(l-x)) - \dot{I}_{ni} Z_{ci} \sinh(\gamma_i(l-x))\end{aligned}\quad (1)$$

式中: $i=1, 2, 0$, 分别表示正序、负序和零序; $\dot{U}_{mi}$, $\dot{I}_{mi}$, $\dot{U}_{ni}$, $\dot{I}_{ni}$ 分别为 m 和 n 端母线处计算所得的电压、电流量; γ_i 和 Z_{ci} 分别为传播系数和波阻抗; l 为线路全长。

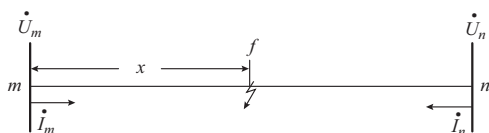


图1 双端线路示意图

Fig.1 Diagram of two-terminal transmission lines

在故障点处有 $\dot{U}_{mfi} = \dot{U}_{nfi} e^{j\delta_d}$ (δ_d 为两端采用数据的不同步角度)。对于不对称短路则有:

$$\frac{\dot{U}_{mf1}}{\dot{U}_{mf2}} = \frac{\dot{U}_{nf1}}{\dot{U}_{nf2}} \quad (2)$$

对于输电线路而言,可认为 $\gamma_1 = \gamma_2, Z_{c1} = Z_{c2}$ 。

由式(2)得 $\dot{U}_{mf1} \dot{U}_{nf2} = \dot{U}_{mf2} \dot{U}_{nf1}$,把式(1)代入可以得到:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{mf1} \dot{U}_{nf2} = & (\dot{U}_{m1} \cosh \gamma_1 x - \dot{I}_{m1} Z_{c1} \sinh \gamma_1 x) \cdot \\ & (\dot{U}_{n2} \cosh(\gamma_1(l-x)) - \dot{I}_{n2} Z_{c1} \sinh(\gamma_1(l-x))) = (A_1 + A_2) \cosh^2 \gamma_1 x + \\ & A_3 \sinh \gamma_1 x \cosh \gamma_1 x - A_2 = \\ & \frac{A_1 + A_2}{2} \cosh 2\gamma_1 x + \frac{A_3}{2} \sinh 2\gamma_1 x + \\ & \frac{A_1 - A_2}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

其中,

$$\begin{aligned} A_1 = & \dot{U}_{m1} \dot{U}_{n2} \cosh \gamma_1 l - \dot{U}_{m1} \dot{I}_{n2} Z_{c1} \sinh \gamma_1 l \\ A_2 = & \dot{U}_{n2} \dot{I}_{m1} Z_{c1} \sinh \gamma_1 l - \dot{I}_{m1} \dot{I}_{n2} Z_{c1}^2 \cosh \gamma_1 l \\ A_3 = & \dot{U}_{m1} \dot{I}_{n2} Z_{c1} \cosh \gamma_1 l - \dot{U}_{m1} \dot{U}_{n2} \sinh \gamma_1 l - \\ & \dot{U}_{n2} \dot{I}_{m1} Z_{c1} \cosh \gamma_1 l + \dot{I}_{m1} \dot{I}_{n2} Z_{c1}^2 \sinh \gamma_1 l \end{aligned}$$

同理:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{mf2} \dot{U}_{nf1} = & \frac{B_1 + B_2}{2} \cosh 2\gamma_1 x + \frac{B_3}{2} \sinh 2\gamma_1 x + \\ & \frac{B_1 - B_2}{2} \end{aligned} \quad (4)$$

式中: B_1, B_2, B_3 分别为 A_1, A_2, A_3 中 m 和 n 端的正序分量变换成的负序分量。

由式(2)至式(4)可得:

$$(A_1 + A_2 - B_1 - B_2) \cosh 2\gamma_1 x + (A_3 - B_3) \sinh 2\gamma_1 x = B_1 + A_2 - B_2 - A_1 \quad (5)$$

对于式(5)左右两端取相位构造测距函数得:

$$\begin{aligned} f = & \arg((A_1 + A_2 - B_1 - B_2) \cosh 2\gamma_1 x + \\ & (A_3 - B_3) \sinh 2\gamma_1 x) - \arg(B_1 + A_2 - B_2 - A_1) \end{aligned} \quad (6)$$

式中: $\arg(X)$ 表示 X 的相位。

设:

$$U = A \cosh 2\gamma_1 x + B \sinh 2\gamma_1 x \quad (7)$$

式中: $A = A_1 + A_2 - B_1 - B_2; B = A_3 - B_3$ 。

在高压输电线中,电感远大于电阻,容抗远大于泄露电导,故传播系数可近似认为 $\gamma_1 \approx j\omega \sqrt{L_1 C_1} = j\beta_1$ (ω 为系统角频率, L_1 和 C_1 分别为输电线路单位长度正序电感和电容)。代入式(7)化简得:

$$U = A \cos 2\beta_1 x + jB \sin 2\beta_1 x \quad (8)$$

设 $B = AK \angle \theta$,代入式(8)可得:

$$U = A(\cos 2\beta_1 x - K \sin \theta \sin 2\beta_1 x + jK \cos \theta \sin 2\beta_1 x) \quad (9)$$

在实际电网中, $2\beta_1 x$ 在 $(0, \pi/2)$ 内,当 θ 在 $(0, \pi/2)$ 时, U 与 A 的相位差 φ 可写为:

$$\varphi = \arctan \frac{K \cos \theta}{\cot 2\beta_1 x - K \sin \theta} \quad (10)$$

从式(10)可看出 φ 是单调递增的;同理 θ 在 $(-\pi/2, 0)$ 时, φ 是单调递增的; θ 在 $(\pi/2, \pi)$ 和 $(-\pi, -\pi/2)$ 时, φ 是单调递减的。当系统发生故障时, $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$ 都是已知的值,即 A 和 B 是已知值, θ 也是已知值,可得 U 的相位是单调的,即式(6)是单调的。因式(2)在故障点处必相等,故式(5)在故障点处也必相等。所以式(6)在故障点处为零。综上可知,测距函数(式(6))是单调的,并且在故障点处函数值为零。

图2给出了测距函数与化简的测距函数曲线仿真比较图,即式(7)与式(8)的相位曲线。可见,尽管式(8)相位曲线随距离 x 的增加逐渐偏离式(7)相位曲线,但它们的走向大致一样。故可用式(8)相位曲线的走向来证明式(7)的单调性。该仿真图形再次验证了定性分析的可行性。

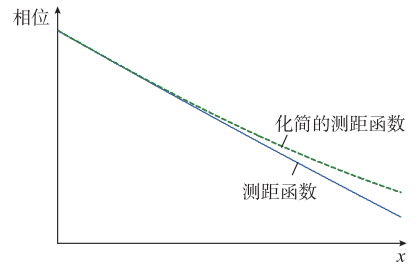


图2 测距函数曲线比较

Fig.2 Curves comparison of fault location function

对于三相短路,为消除不同步角,可采用:

$$\frac{\dot{U}_{mf1}}{\Delta \dot{U}_{mf1}} = \frac{\dot{U}_{nf1}}{\Delta \dot{U}_{nf1}} \quad (11)$$

式中: $\Delta \dot{U}_{mf1}$ 和 $\Delta \dot{U}_{nf1}$ 分别为 m 和 n 端正序电压的故障分量。

同理也可构造类似式(6)的测距函数:

$$\begin{aligned} f = & \arg((A_1' + A_2' - B_1' - B_2') \cosh 2\gamma_1 x + \\ & (A_3' - B_3') \sinh 2\gamma_1 x) - \\ & \arg(B_1' + A_2' - B_2' - A_1') \end{aligned} \quad (12)$$

式中: $A_1', A_2', A_3', B_1', B_2', B_3'$ 分别为相应的 $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$ 的负序分量变换成的正序故障分量。

从以上推导可知,该方法测距结果不会存在伪根,并且测距精度在理论上不受过渡电阻、故障类型和负荷电流等影响。

1.2 误差分析

测距函数系统涉及线路参数、电流、电压的组合,会放大现有误差,但误差放大仅是 A, B 单个放大,从式(7)可看出, A 和 B 是 $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$ 的组合,而 A_1, A_2, B_1, B_2 是两个表达式的组合, A_3 和 B_3 是四个表达式的组合。在两端测得的电压、电流相量误差基本相等的情况下, $A_1 + A_2$ 的误差与 $B_1 + B_2$ 的误差基本相等,两者相减可消去误差,同理其他两项也类似。且 A_1 可看成是 m 端正序电压与从 n 端数据求 m 端的负序电压的乘积,其他也有类似的组合,即 A_1, A_2, A_3 相当于电压、电流的两个组合,即使在两端测得的电压、电流相量误差不相等的情况下,其误差放大也在容许范围内。故由以上分析可知测距函数尽管是电压、电流的大量组合,但基本上不会放大其存在的误差。

本文所提的故障测距函数可用式(12)一个测距函数来测距,但在实际应用中,考虑到提取故障分量用到故障前的电气量可能会产生误差,而且会增加计算量,并且大部分短路是不对称短路,故而建议对不对称短路使用式(6)来测距。

1.3 测距算法

求取故障距离可用二分区间求根法或者用弦截求根法^[9]。由于相位是周期为 360° 的周期函数,必须对求得的相位做一些处理,使其保持单调性。

假设求取的相位在 $(-180^\circ, 180^\circ]$ 之间,可在 $x=0$ 附近求取式(6)或式(12)几个相位来判断单调性。取 $x=0$ 处的相位作为参考相位,在求取 x 点的相位时与参考相位作比较,若不满足单调性,使其加上或者减去 360° 从而满足单调性。在选取 $x=0$ 处的相位作为参考电压相位时,应使 $x=0$ 和 $x=l$ 处的相位都不超过 $\pm 360^\circ$,否则使在 $x=0$ 处相位减去或者加上 360° 作为其参考相位。

电压相位变换图如图 3 所示,其中图 3(a)是求取测距函数的相位未处理的曲线,图 3(b)是直接选取 $x=0$ 处的相位为参考相位,使得在 $x=l$ 处相位超过 $\pm 360^\circ$ 的相位曲线,图 3(c)是按上述处理的相位曲线。由图 3(c)可知,可按二分区间求根法或者用弦截求根法快速求取故障点的位置。

2 仿真验证

本文采用 ATP-EMTP 进行仿真实验,线路模型如图 1 所示。线路全长 500 km,单回线,500 kV,单位正序参数为: $R_1 = 0.018 \Omega/\text{km}$, $L_1 = 0.9 \text{ mH}/\text{km}$, $C_1 = 0.0113 \mu\text{F}/\text{km}$ 。单位零序参数为: $R_0 = 0.1896 \Omega/\text{km}$, $L_0 = 3.45 \text{ mH}/\text{km}$, $C_0 = 0.0083 \mu\text{F}/\text{km}$ 。

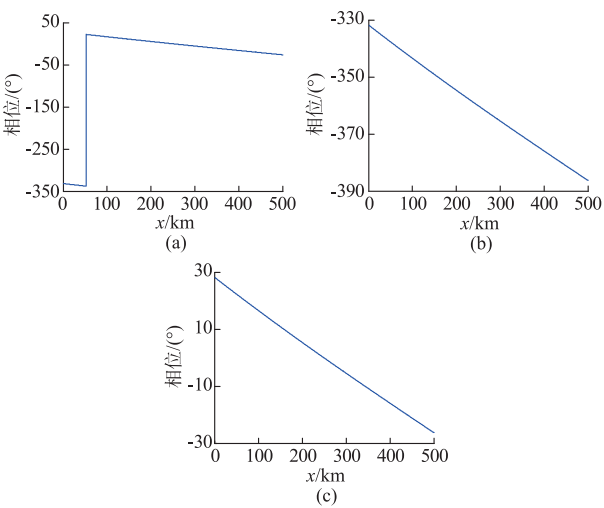


图 3 电压相位变换图
Fig.3 Voltage phase conversion diagram

m 侧系统参数为: $L_{m1} = 90.1 \text{ mH}$, $L_{m0} = 83.7 \text{ mH}$, $R_{m1} = R_{m0} = 0$ 。 n 侧系统参数为: $R_{n1} = 3.5 \Omega$, $L_{n1} = 356.44 \text{ mH}$, $R_{n0} = 5.45 \Omega$, $L_{n0} = 453.78 \text{ mH}$ 。 m 和 n 两侧电源参数分别为 $500\angle 70^\circ \text{ V}$ 与 $500\angle 10^\circ \text{ V}$ 。两侧数据的采样率为 2.5 kHz,基波相量提取采用全波傅氏算法。

图 4 是测距结果的绝对误差随不同步相角的变化情况。其中图 4(a)是距 m 侧 240 km 处发生 A 相接地短路时测距结果的绝对误差随不同步相角的变化情况,图 4(b)是距 m 侧 240 km 处发生三相接地短路时测距结果的绝对误差随不同步相角的变化情况。由图 4 可知,本文方法基本上不受不同步相角的影响,能达到很高的测距精度。

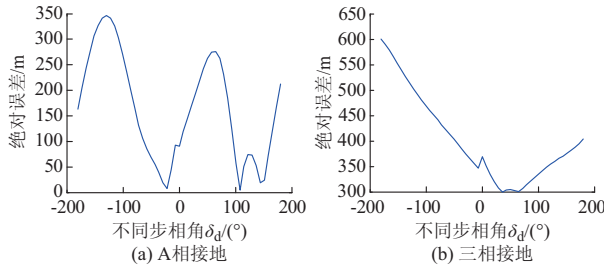


图 4 不同步相角对测距结果的影响
Fig.4 Influence of not synchronous phase angle on fault location

图 5 是距 m 侧 100 km 处发生 A 相接地短路不同步角 δ_d 为 36° 时测距结果的绝对误差随过渡电阻的变化情况。由图 5 可知,本文方法基本不受过渡电阻的影响,在不同过渡电阻下,均能达到很高的精度。

文献[9]根据故障处电压幅值相等原理来建立测距方程,对于伪根,采用故障点处相或线电压幅值

最小原理来去除伪根。但对于两端求得的相或线电压在故障点处幅值最小对于高阻短路时可能不适用。电压幅值沿线分布曲线如图 6 所示,其中图 6(a)是在 m, n 侧电源参数分别为 $500\angle 80^\circ\text{ V}$ 与 $500\angle 20^\circ\text{ V}$ 时,距 m 侧 10 km 处 AB 相各接 $300\ \Omega$ 电阻接地短路两侧求得的相电压幅值曲线,由图 6(a)可看出,由两侧求得的电压幅值曲线在 10 km 附近是单调递减的,不满足相电压在故障点处幅值最小,故这时不能识别伪根导致无法确定故障点。图 6(b)是在 m, n 侧电源参数分别为 $500\angle 50^\circ\text{ V}$ 与 $500\angle 30^\circ\text{ V}$ 时,距 m 侧 40 km 处 AB 相各接 $150\ \Omega$ 电阻接地短路两侧求得的线电压幅值曲线,由图 6(b)可看出,两侧求得的线电压幅值曲线在 40 km 附近都是单调递增的,不满足线电压在故障点处幅值最小,故这时不能识别伪根导致无法确定故障点。

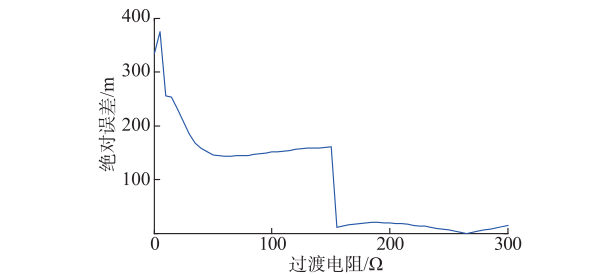


图 5 过渡电阻对测距结果的影响

Fig.5 Influence of fault resistance on fault location

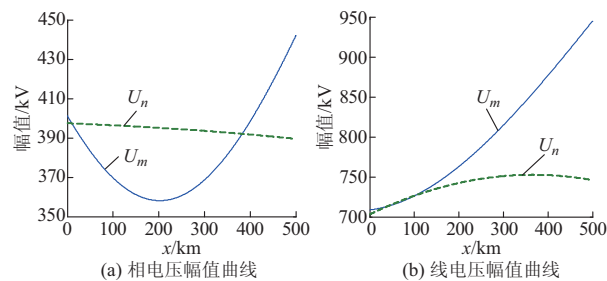


图 6 电压幅值沿线分布曲线

Fig.6 Curves of voltage amplitude along the transmission line

表 1 列出了各种故障类型下,本文测距结果与传统方法测距结果(以文献[9]方法为例)的比较,其中不同步角 δ_d 为 36° 。由表 1 可知,传统方法与本文方法的测距结果在不同条件下相差无几,都能满足工程的要求。尽管传统方法与本文方法在理论上测距精度都不受过渡电阻、故障类型等影响,但传统双端不同步测距利用故障点处电压幅值相等原理来测距时,在线路两端近端故障高阻的情况下可能出现伪根,这是原理上出现伪根,即使毫无误差地提取

基波相量时,也会出现这种伪根。而本文所提方法不会出现伪根,且采用同端参数相比的形式,也可有效地抑制误差,并具有较强的鲁棒性。

表 1 本文方法与文献[9]方法的测距结果

Table 1 Fault location results of the proposed method and reference [9] method

故障类型	过渡电阻/ Ω	故障距离/km	传统测距结果/km	本文测距结果/km
单相接地	5	80	79.676	79.799
	500	2	1.904	1.859
	500	497	497.235	497.187
两相接地	10	140	139.890	139.741
	500	5	5.298	5.282
	150	495	495.201	494.756
两相相间	50	160	159.901	159.882
	500	490	489.900	489.913
	300	10	9.865	10.103
三相短路	100	300	299.989	299.964
	500	495	494.677	494.641
	400	3	2.737	2.842

表 2 列出了各种故障类型下数据不同步时的测距结果,其中不同步角 δ_d 为 72° ,不对称短路用式(6)来测距,对称短路用式(12)来测距。由表 2 可知,本文方法测距精度基本不受故障类型的影响,均能达到很高的精度。

表 2 不同故障类型对测距结果的影响

Table 2 Influence of different fault types on fault location

故障类型	测距结果/km				
单相接地	39.94	119.72	199.61	279.86	359.88
两相接地	39.89	119.97	199.98	279.52	360.04
两相相间	39.99	119.99	199.98	279.77	359.97
三相短路	40.08	120.01	199.98	279.92	359.89
实际值	40.00	120.00	200.00	280.00	360.00

3 结语

本文基于分布参数模型,针对不对称短路通过电压的正序分量与负序分量的比值消除不同步角,三相短路通过电压的正序分量与故障正序分量的比值消除不同步角,进而利用相位的单调性推得测距方程。本文方法不存在伪根,可以利用二分区间求根法或者弦截求根法快速求取故障距离,克服了传统方法由于伪根的存在导致测距失败的缺点。该方法测距精度理论上不受不同步角、过渡电阻、故障类型等影响,均能达到很高的测距精度。该方法计算量小,测距精度高,适用性强,具有较高的实用价值。

参考文献

[1] 葛耀中.新型继电保护和故障测距的原理与技术[M].2 版.西安:西安交通大学出版社,2007.

[2] 张峰,梁军,李建超,等.基于初始反极性行波检查的单端故障测距算法[J].电力系统自动化,2013,37(4):108-113.
ZHANG Feng, LIANG Jun, LI Jianchao, et al. Single ended fault location algorithm based on detection of initial reverse polarity traveling wave [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(4): 108-113.

[3] 徐高,龚庆武,李勋,等.一种利用行波自然频率的杆塔故障定位新方法[J].电力系统自动化,2014,38(5):78-82.
XU Gao, GONG Qingwu, LI Xun, et al. A novel method of tower fault location using natural frequencies of traveling wave [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(5): 78-82.

[4] 牛睿,梁军,负志皓,等.基于故障距离区间的混联线路单端行波测距[J].电网技术,2015,39(1):156-163.
NIU Rui, LIANG Jun, YUN Zhihao, et al. A fault distance interval based single terminal traveling wave fault location method for hybrid transmission lines [J]. Power System Technology, 2015, 39(1): 156-163.

[5] 陈羽,刘东,徐丙垠.基于广域网络信息的行波测距算法[J].电力系统自动化,2011,35(11):65-70.
CHEN Yu, LIU Dong, XU Bingyin. A travelling wave location algorithm based on wide area network information [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(11): 65-70.

[6] 李勋,石帅军,龚庆武.采用信赖域法和双端非同步数据的故障测距算法[J].高电压技术,2010,36(2):396-400.
LI Xun, SHI Shuaijun, GONG Qingwu. Transmission line fault location algorithm using trust-region method and two-terminal unsynchronized data [J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(2): 396-400.

[7] 牛敏,赵航.一种改进的双端测距算法[J].电力系统及其自动化学报,1998,10(1):17-21.
NIU Min, ZHAO Fang. A fault location algorithm based on two-terminal unsynchronized data[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 1998, 10(1): 17-21.

[8] 崔静安,王安定.一种采用双端电气量的新型故障测距算法[J].电网技术,1996,20(12):17-19.
CUI Jing'an, WANG Anding. A new accurate method for fault location based on two terminal unsynchronized data[J]. Power System Technology, 1996, 20(12): 17-19.

[9] 桂勋,刘志刚,韩旭东,等.基于高压输电线路电压沿线分布规律的故障双端测距算法[J].中国电机工程学报,2009,29(19):63-69.
GUI Xun, LIU Zhigang, HAN Xudong, et al. An accurate algorithm of two-terminal fault location based on the distribution of line voltage along HV transmission line [J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(19): 63-69.

[10] 辛振涛,尚德基,尹项根.一种双端测距算法的伪根问题与改进[J].继电器,2005,33(6):36-38.
XIN Zhentao, SHANG Deji, YIN Xianggen. False root and its improvement of a two-terminal fault location algorithm on transmission line[J]. Relay, 2005, 33(6): 36-38.

[11] 束洪春,高峰,陈学允,等.双端不同步采用的高压输电线路[J].电工技术学报,1997,12(6):43-48.
SHU Hongchun, GAO Feng, CHEN Xueyun, et al. Studies on fault location algorithm for HV transmission line using both line terminals asynchronous data [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 1997, 12(6): 43-48.

[12] 滕林,刘万顺,李营,等.一种实用的新型高压输电线路故障双端测距精度算法[J].电力系统自动化,2001,25(18):24-27.
TENG Lin, LIU Wanshun, LI Ying, et al. A novel practical accurate fault location algorithm for HV transmission line [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(18): 24-27.

[13] 束洪春,司大军,葛耀中,等.利用双端不同步数据的高压输电线路测距实用算法及其实现[J].电网技术,2000,24(2):45-49.
SHU Hongchun, SI Dajun, GE Yaozhong, et al. Study on practical fault location algorithm for two-terminal HV and EHV transmission lines using asynchronous data at both ends [J]. Power System Technology, 2000, 24(2): 45-49.

[14] 全玉生,邱庆春,邵宇,等.基于双端不同步数据故障定位的中位修正法[J].高电压技术,2005,31(9):1-4.
QUAN Yusheng, QIU Qingchun, SHAO Yu, et al. Novel correcting method for fault location based on two-terminal asynchronous data [J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(9): 1-4.

[15] 梁远升,王钢,李海峰.双端不同步线路参数自适应时频域故障测距算法[J].电力系统自动化,2009,33(4):62-66.
LIANG Yuansheng, WANG Gang, LI Haifeng. Fault location algorithm based on time-frequency domain with two asynchronous [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(4): 62-66.

[16] 梁军,麻常辉,负志皓.基于线路参数估计的高压架空输电线路故障测距新算法[J].电网技术,2004,28(4):60-63.
LIANG Jun, MA Changhui, YUN Zhihao. A fault location algorithm for high voltage overhead power transmission line based on line parameter estimation [J]. Power System Technology, 2004, 28(4): 60-63.

[17] 全玉生,王晓蓉,杨敏中,等.工频双端测距算法的鲁棒性问题和新算法研究[J].电力系统自动化,2000,24(10):28-32.
QUAN Yusheng, WANG Xiaorong, YANG Minzhong, et al. Two new algorithms and their robustness for two-terminal fault location on HV transmission line [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(10): 28-32.

[18] 施世鸿,何奔腾.基于分布参数模型的双端非同步故障测距算法[J].电网技术,2008,32(9):84-88.
SHI Shihong, HE Benteng. A two-terminal fault location algorithm using asynchronous phasors based on distributed parameter model [J]. Power System Technology, 2008, 32(9): 84-88.

陈 旭(1989—),男,通信作者,硕士,主要研究方向:输电线路故障定位. E-mail: chenxu89@126.com

朱永利(1963—),男,博士,教授,主要研究方向:输变电设备在线监测、智能分析与智能电网. E-mail: yonglipw@163.com

郭小红(1990—),女,硕士,主要研究方向:输电线路雷击识别与故障定位. E-mail: guoxiaohong_hd@126.com

(编辑 万志超)

(下转第 163 页 continued on page 163)

A Two-terminal Fault Location Algorithm Using Asynchronous Data Based on Phase Characteristics for High Voltage Transmission Line

CHEN Xu¹, ZHU Yongli¹, GUO Xiaohong¹, GAO Yanfeng¹, ZHAO Lei¹, ZHAO Xuesong²

(1. School of Electrical and Electric Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. Maintaining Department of State Grid Jibei Electric Power Company, Beijing 102488, China)

Abstract: The current algorithms of unsynchronized two-terminal fault location may lead to failure to locate the fault because of the false root. To overcome the defect, a new two-terminal fault location algorithm is proposed. Based on a distributed parameter model for the power transmission line, this paper uses the ratio of positive to negative sequence component of voltage or the ratio of voltage positive and fault positive sequence component to eliminate the asynchronous angle and then proposes a new algorithm of two-terminal fault location with asynchronous data based on the monotonicity of the phase. The algorithm without the false roots and the bisection method or secant method can be used to find out the fault position quickly. The EMTP simulation results show that this method is hardly affected by transition resistance, fault type and the asynchronous angle. The computation amount is small and the ranging precision high.

This work is supported by Fundamental Research Funds for the Central Universities (No. 2014xs74).

Key words: two-terminal unsynchronized data; fault location; false roots; high voltage transmission line