双端非同步数据故障测距的非线性估计算法

徐鹏, 王钢, 李晓华, 张尧

(华南理工大学电力学院,广东 广州 510640)

摘要: 提出了一种基于双端非同步数据的不受故障性质和类型限制的故障测距新方法。该方法依据从两侧观测到的故障点电压各次分量的序分量相等的特点构造了6N维观测方程,采用非线性状态估计的方法求解其在最小二乘意义下的最优解。仿真表明,算法具有较好的稳定性、较大的收敛域和较高的测量精度。

关键词: 故障测距; 观测方程; 非线性估计

中图分类号: TM773 **文献标识码**: A **文章编号**: 1003-4897(2005)01-0016-05

0 引言

架空线路跨度大、自然环境复杂,故障率较高。准确的故障定位可以有效地减少维护的工作量、提高线路的运行水平、缩短停电时间,具有现实的经济意义和社会效益。多年来,人们对电力系统故障测距问题给予了极大的关注。

作为故障测距主要方法之一的阻抗类测距方法从使用数据的来源可以分为两类:单端阻抗测距和双端阻抗测距。单端阻抗测距方法由于具有使用的设备简单、信息量少、易于实现等特点受到广泛的重视。但是,由于缺少对侧系统运行信息,单端阻抗类测距方法需要做故障点电流或电压的一些假定,因而存在较大的原理误差。双端阻抗类测距方法由于使用两侧的电压、电流信息,则可以避免这一问题[1~4]。但是,通常的双端测距算法都依赖于GPS对两侧电压和电流信息的同步,且测距精度随同步精度降低而显著下降。文献[5,6]提出了基于集中参数电路的双端非同步数据的测距方法,分析了两侧测量信息"同步"的算法。实际高压输电线路特别是远距离输电线路,其精确模型应采用分布参数电路描述,因此该方法不可避免存在模型误差。文献[7]提出了基于分布参数电路的双端非同步数据的测距方法,但是故障电弧特性使用恒定阻抗模型描述。而对于瞬时性故障,由于弧光电阻非线性特性的影响,电力系统测量信号中包含有丰富的高频分量。为使研究更接近于实际情况,在瞬时性故障时,应对电力系统中高频分量予以适当地考虑。

针对上述方法存在的问题,本文提出了基于分布参数线路模型的非同步数据双端测距新方法。在详细研究双端系统两侧电压、电流各次分量与故障点电压各次分量间关系的基础上,提出了以故障点电压各次分量两侧计算值相等的特点构造观测方程,并引入非线性状态估计方法用于双端非同步数据故障测距。这种处理不仅提高了模型精度,也提高了算法的适应性,并使算法不受故障性质影响(永久性故障和瞬时性故障)。通过大量的仿真研究证实,算法具有较好的稳定性、较大的收敛域和较高的测量精度。

基金项目: 广东省自然科学基金项目(990577)

1 算法原理

1.1 观测量分析

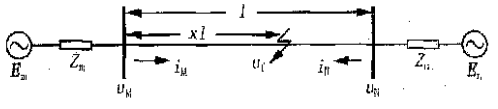

图1 双端500 kV输电系统接线图

Fig.1 Connection of two-terminal 500 kV transmission systems

对于如图1所示双端系统,不论发生何种短路(电弧性短路和非电弧性短路,对称短路和非对称短路),故障点处三相电压向量为:

$$\mathbf{u}_f(t) = [\,u_{fa}(t) \quad u_{fb}(t) \quad u_{fc}(t)\,]^T$$

对上述相电压信号经傅里叶级数分解后,有:

$$\mathbf{u}_f(t) = \begin{bmatrix} u_{fa}(t) \\ u_{fb}(t) \\ u_{fc}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{fa}^{(0)} + \sum_{i=1}^{\infty} u_{fa}^{(i)} \\ u_{fb}^{(0)} + \sum_{i=1}^{\infty} u_{fb}^{(i)} \\ u_{fc}^{(0)} + \sum_{i=1}^{\infty} u_{fc}^{(i)} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中: $u_{fa}^{(i)}(t)$、$u_{fb}^{(i)}(t)$、$u_{fc}^{(i)}(t)$是故障点a、b、c相电压i次谐波分量。

故障点相电压i次谐波分量向量表示为相应的

相量形式可记为:

$$U_{fp}^{(i)} = [\,U_{fa}^{(i)} \quad U_{fb}^{(i)} \quad U_{fc}^{(i)}\,]^{T}$$

对上述相电压 i 次谐波向量采用对称分量变换

$$U_{fK}^{(i)} = TU_{fp}^{(i)} \qquad i \in \mathbf{N}$$

其中:$U_{fK}^{(i)}$ 是故障点 i 次分量的正、负、零序电压向量,对称分量法变换矩阵为:

$$T = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

同样地,对两侧测量电压和电流进行谐波分析和对称分量变换可得 M、N 各侧分量的正、负、零序分量为:

$$U_{MK}^{(i)},\ U_{NK}^{(i)} \qquad i \in \mathbf{N}$$

$$I_{MK}^{(i)},\ I_{NK}^{(i)} \qquad i \in \mathbf{N}$$

对于线性分布参数系统,如果以 M 侧为观察侧,故障点电压各次分量的正、负、零序分量为:

$$U_{MK}^{(i)} = U_{MK}^{(i)}\cosh\ \gamma_k^{(i)} lx - I_{MK}^{(i)} Z_{ck}^{(i)} \sinh\ \gamma_k^{(i)} lx \quad (2)$$

式中: $k = 1,2,,0 \quad i \in \mathbf{N}$

$$\gamma_k^{(i)} = \sqrt{Z_k^{(i)} Y_k^{(i)}} = \sqrt{[\,R + \mathrm{j}(i\omega)\,L\,]\mathrm{j}(i\omega)\,C}$$

$$Z_{ck}^{(i)} = \sqrt{Z_k^{(i)} / Y_k^{(i)}} = \sqrt{[\,R + \mathrm{j}(i\omega)\,L\,]/\mathrm{j}(i\omega)\,C}$$

同理,如果以 N 侧为观察侧,对于故障点电压各次分量的正、负、零序分量为:

$$U_{Nfk}^{(i)} = U_{Nk}^{(i)}\cosh\ \gamma_k^{(i)} l(1-x) - I_{Nk}^{(i)} Z_{ck}^{(i)} \sinh\ \gamma_k^{(i)} l(1-x) \quad (3)$$

式中: $k = 1,2,0 \qquad i \in \mathbf{N}$ 。

1.2　构造观测方程

为使用非同步数据进行故障测距,应构造一组包含测量信号偏差角和故障位置估计量的状态估计观测方程。

实际应用中,考虑两端信号采样时间差为 Δt,对应系统基频相位角差为 $\varphi = 2\pi f \Delta t$(称 φ 为测量信号偏差角)。于是,由两侧电压和电流计算得到的故障点电压各次分量关系为[8]:

$$U_{Mfk}^{(i)} = U_{Nfk}^{(i)} \mathrm{e}^{\mathrm{j}i\varphi} \qquad i \in \mathbf{N} \quad k = 1,2,0 \quad (4)$$

即有:

$$(U_{Nk}^{(i)}\cosh\ \gamma_k^{(i)} l(1-x) - I_{Nk}^{(i)} Z_{ck}^{(i)} \sinh\ \gamma_k^{(i)} l(1-x))\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}i\varphi} - (U_{Mk}^{(i)}\cosh\ \gamma_k^{(i)} lx - I_{Mk}^{(i)} Z_{ck}^{(i)} \sinh\ \gamma_k^{(i)} lx) = 0$$
$$i \in \mathbf{N}, \quad k = 1,2,0 \quad (5)$$

该方程是一组关于测量信号偏差角估计量 φ 和故障位置估计量 x 的非线性复方程。可以采用非线性估计方法,求其最小二乘意义下的最优估计值。

1.3　观测方程处理

1) 观测方程

令 $Z_k^{(i)}(\varphi, x) = [\,U_{Nk}^{(i)}\cosh\ \gamma_k^{(i)} l(1-x) - I_{Nk}^{(i)} Z_{ck}^{(i)} \sinh\ \gamma_k^{(i)} l(1-x)\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}i\varphi} - (U_{Mk}^{(i)}\cosh\ \gamma_k^{(i)} lx - I_{Mk}^{(i)} Z_{ck}^{(i)} \sinh\ \gamma_k^{(i)} lx)$ (6)

$$i \in \mathbf{N}, \quad k = 1,2,0$$

令 $X = [\varphi \quad x]^{T}$。为保证观测结果在实域内,对 $Z(X)$ 进行实部和虚部分解得到实观测方程 $F(X)$。如果谐波次数为 N,则方程为 6N 维。

$$F^{(i)}(X) = \begin{bmatrix} \mathrm{real}\ Z_k^{(i)}(X) \\ \mathrm{image}\ Z_k^{(i)}(X) \end{bmatrix} = 0 \quad (7)$$

展开后为:

$$F^{(i)}(\varphi, x) = \begin{bmatrix} \mathrm{real}\ Z_1^{(i)}(\varphi, x) \\ \mathrm{real}\ Z_2^{(i)}(\varphi, x) \\ \mathrm{real}\ Z_0^{(i)}(\varphi, x) \\ \mathrm{image}\ Z_1^{(i)}(\varphi, x) \\ \mathrm{image}\ Z_2^{(i)}(\varphi, x) \\ \mathrm{image}\ Z_0^{(i)}(\varphi, x) \end{bmatrix} = 0 \quad (8)$$

2) 观测方程雅克比矩阵

为计算 $F(X)$ 的雅克比矩阵 $H(X)$,可以对上述复方程 $Z(X)$ 求导,并按照实部和虚部展开,于是可获得 6N ×2 维的 $H(X)$。

$$H^{(i)}(\varphi, x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial F^{(i)}}{\partial \varphi} & \frac{\partial F^{(i)}}{\partial x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{real}\ \frac{\partial Z_1^{(i)}}{\partial \varphi} & \mathrm{real}\ \frac{\partial Z_1^{(i)}}{\partial x} \\ \mathrm{real}\ \frac{\partial Z_2^{(i)}}{\partial \varphi} & \mathrm{real}\ \frac{\partial Z_2^{(i)}}{\partial x} \\ \mathrm{real}\ \frac{\partial Z_0^{(i)}}{\partial \varphi} & \mathrm{real}\ \frac{\partial Z_0^{(i)}}{\partial x} \\ \mathrm{image}\ \frac{\partial Z_1^{(i)}}{\partial \varphi} & \mathrm{image}\ \frac{\partial Z_1^{(i)}}{\partial x} \\ \mathrm{image}\ \frac{\partial Z_2^{(i)}}{\partial \varphi} & \mathrm{image}\ \frac{\partial Z_2^{(i)}}{\partial x} \\ \mathrm{image}\ \frac{\partial Z_0^{(i)}}{\partial \varphi} & \mathrm{image}\ \frac{\partial Z_0^{(i)}}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\frac{\partial Z_k^{(i)}}{\partial \varphi} = \mathrm{j}\,i\,(U_{Nk}^{(i)}\cosh\ \gamma_k^{(i)} l(1-x) - I_{Nk}^{(i)} Z_{ck}^{(i)} \sinh\ \gamma_k^{(i)} l(1-x))\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}i\varphi} \quad (10)$$

$$\frac{\partial Z^{(i)}}{\partial x} = -(U_{Nk}^{(i)} \sinh\ \gamma_k^{(i)} l(1-x) - I_{Nk}^{(i)} Z_{ck}^{(i)} \cosh\ \gamma_k^{(i)} l(1-x))\ \gamma_k^{(i)} l\mathrm{e}^{\mathrm{j}i\varphi} - (U_{Mk}^{(i)} \sinh\ \gamma_k^{(i)} lx - I_{Mk}^{(i)} Z_{ck}^{(i)} \cosh\ \gamma_k^{(i)} lx)\ \gamma_k^{(i)} l \quad (11)$$

1.4　非线性估计原理

对于观测方程 $F(X)$ 任意点 $X^{(k)}$ 对标量函数 $F(X)$ 进行泰勒展开,对于 $X^{(k)}$ 邻域内任一点

$X^{(k+1)}$函数值 $F(X^{(k+1)})$有

$$F(X^{(k+1)}) = F(X^{(k)}) + H(X^{(k)})\Delta X + \cdots (12)$$

式中:$\Delta X = X^{(k+1)} - X^{(k)}$; $H(X^{(k)}) = \left[\frac{\partial F}{\partial X}\right]\Big|_{X=X^{(k)}}$

忽略高阶项,近似有

$$F(X^{(k+1)}) = F(X^{(k)}) + H(X^{(k)})\Delta X \quad (13)$$

对上述非线性方程 $F(X) = 0$ 进行状态估计,即寻找一组观测量使上述方程观测误差

$$J(X^{(k+1)}) = F(X^{(k+1)})^{T} F(X^{(k+1)}) = [F(X^{(k)}) + H(X^{(k)})\Delta X^{(k)}]^{T}[F(X^{(k)}) + H(X^{(k)})\Delta X^{(k)}] \quad (14)$$

最小。满足上述要求的迭代公式为:

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} - [H(X^{(k)})^{T} H(X^{(k)})]^{-1} H(X^{(k)})^{T} \cdot F(X^{(k)}) \quad (15)$$

1.5 计算步骤

①设置 $k = 0$;

②给定一组初值 $X^{(0)} = [\varphi^{(0)} \quad x^{(0)}]^{T}$;

③令 $k = 1$, $X^{(0)} \rightarrow X^{(k)}$;

④计算观测偏差量;

$$F^{(i)}(X^{(k)}) = \begin{bmatrix} \text{real } Z(X^{(k)}) \\ \text{image } Z(X^{(k)}) \end{bmatrix};$$

⑤计算 $F^{(i)}(X^{(k)})$的雅克比矩阵 $H^{(i)}(X^{(k)})$;

$$H^{(i)}(X) = \frac{\partial F}{\partial X} = \begin{bmatrix} \text{real } \frac{\partial Z}{\partial X} \\ \text{image } \frac{\partial Z}{\partial X} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{real } \frac{\partial Z}{\partial \varphi} & \text{real } \frac{\partial Z}{\partial x} \\ \text{image } \frac{\partial Z}{\partial \varphi} & \text{image } \frac{\partial Z}{\partial x} \end{bmatrix}$$

⑥计算修正量;

$$\Delta X^{(k)} = -[H(X^{(k)})^{T} H(X^{(k)})]^{-1} H(X^{(k)})^{T} \cdot F(X^{(k)});$$

⑦得到新的估计值 $X^{(k+1)} = X^{(k)} + \Delta X^{(k)}$;

⑧若 $|\Delta X^{(k)}|_2 \leq \varepsilon$,则输出结果;否则 $X^{(k+1)} \rightarrow X^{(k)}$, $k = k + 1$ 转回。

2 仿真分析

以一个 500 kV、300 km 双电源输电线路系统(如图 1 所示)为例,利用 EMTP - ATP 电磁暂态仿真程序进行仿真研究。具体参数如下:

电源: $E_m = 500 \angle\theta$ kV, $E_n = 500 \angle 0°$ kV

系统阻抗:

$Z_{M1} = 1.057\ 7 + j44.92\ \Omega$, $Z_{M0} = j37.47\ \Omega$

$Z_{N1} = 1.051\ 5 + j43.176\ \Omega$, $Z_{N0} = j29.092\ 5\ \Omega$

线路参数: $l = 300$ km

$r_0 = 0.114\ 8\ \Omega$/km, $r_1 = r_2 = 0.020\ 8\ \Omega$/km

$l_0 = 2.288\ 6$ mH/km, $l_1 = l_2 = 0.898\ 4$ mH/km

$c_0 = 0.012\ 9\ \mu$F/km, $c_1 = c_2 = 0.005\ 23\ \mu$F/km

同时,为合理地描述瞬时性故障,引入了在电气技术研究中广泛使用的 Mayr 电弧模型[9]。表 1、表 2 给出了在不同功角差 θ 及测量偏差角 φ 的单相电弧接地和两相电弧短路的部分结果。

表 1 单相接地故障距离和偏差角测量结果(θ为功角差,φ为偏差角, xl 为故障距离)

Tab. 1 Results of location and asynchronous angle on single-phase-to-earth fault

(θ- power angle, φ- asynchronous angle, xl - fault location)

θ/(°)	φ/(°)	xl/km							
		5	10	50	100	200	250	290	295
30	135	5.104 0	10.096 6	50.117 4	100.139 6	200.082 9	250.043 1	290.044 9	295.035 6
		135.066 6	135.061 7	135.045 0	135.039 6	135.019 8	135.016 7	135.048 2	135.047 7
	90	5.096 4	10.086 5	50.113 8	100.138 3	200.080 1	250.052 5	290.037 8	295.025 6
		90.063 5	90.062 1	90.049 9	90.041 8	90.021 2	90.009 4	90.021 6	90.021 6
	45	5.086 0	10.078 6	50.108 4	100.132 3	200.086 5	250.060 4	290.056 2	295.033 3
		45.049 1	45.047 7	45.044 6	45.036 9	45.014 4	45.019 4	44.995 5	45.013 5
60	135	5.083 6	10.078 3	50.107 3	100.130 1	200.107 1	250.047 0	290.025 0	295.020 6
		135.117 0	135.113 4	135.090 9	135.064 8	135.049 5	135.025 7	135.033 3	135.031 5
	90	5.083 0	10.079 0	50.105 6	100.131 7	200.103 5	250.056 1	290.020 1	295.013 1
		90.128 3	90.121 5	90.094 9	90.069 7	90.044 1	90.017 1	90.020 3	90.012 6
	45	5.068 7	10.070 6	50.102 8	100.133 0	200.111 1	250.063 0	290.040 6	295.025 9
		45.112 1	45.107 1	45.089 1	45.064 4	45.039 1	45.023 9	45.004 5	45.004 0
80	135	5.086 6	10.079 9	50.095 9	100.138 8	200.118 7	250.053 7	290.019 8	295.005 1
		135.150 7	135.153 4	135.128 7	135.094 1	135.063 4	135.031 5	135.030 6	135.025 7
	90	5.096 3	10.085 2	50.097 1	100.129 5	200.116 8	250.062 3	290.015 0	295.001 9
		90.139 0	90.140 9	90.129 2	90.094 1	90.059 9	90.025 6	90.018 9	90.009 9
	45	5.088 4	10.080 8	50.097 9	100.134 2	200.122 7	250.069 1	290.033 4	295.015 9
		45.137 3	45.133 2	45.118 8	45.089 6	45.055 8	45.029 7	45.008 6	45.004 9

表 2　两相短路故障距离和偏差角测量结果(θ为功角差,ϕ为偏差角,xl 为故障距离)

Tab. 2　Results of location and asynchronous angle on two-phase fault

(θ- power angle, ϕ- asynchronous angle, xl - fault location)

θ/(°)	ϕ/(°)	xl/km							
		5	10	50	100	200	250	290	295
30	135	5.267 6	10.298 2	50.352 0	100.344 0	200.226 5	250.062 3	290.065 8	294.959 5
		135.054 9	135.054 5	135.047 7	135.038 7	135.019 4	135.010 4	135.003 6	135.002 7
	90	5.136 4	10.468 8	50.387 6	100.338 7	200.226 8	250.045 3	290.060 7	294.954 4
		90.051 8	90.059 4	90.049 5	90.038 7	90.019 4	90.009 9	90.003 6	90.002 7
	45	5.192 7	10.499 3	50.397 1	100.290 5	200.229 0	250.059 3	290.067 4	294.964 3
		45.054 0	45.054 9	45.046 8	45.038 2	45.019 4	45.009 9	45.003 6	45.002 3
60	135	5.275 0	10.202 0	50.279 3	100.327 4	200.244 7	250.072 1	290.067 9	294.944 6
		135.112 9	135.110 7	135.099 0	135.081 9	135.041 9	135.022 1	135.007 7	135.005 4
	90	5.108 6	10.406 1	50.345 9	100.307 5	200.231 6	250.053 4	290.062 4	294.939 8
		90.111 6	90.111 6	90.099 0	90.081 9	90.041 8	90.021 2	90.007 2	90.005 4
	45	5.108 3	10.505 0	50.379 3	100.252 1	200.223 2	250.061 0	290.068 1	294.947 6
		45.119 3	45.102 2	45.092 3	45.081 9	45.041 8	45.021 6	45.007 2	45.004 9
80	135	5.246 9	10.104 8	50.191 9	100.290 5	200.232 2	250.088 5	290.061 5	294.943 5
		135.153 0	135.150 7	135.140 0	135.118 3	135.060 8	135.031 5	135.011 3	135.008 5
	90	5.090 2	10.288 5	50.261 9	100.294 0	200.222 0	250.076 5	290.057 2	294.939 3
		90.151 7	90.152 1	90.140 4	90.118 3	90.060 7	90.031 1	90.011 3	90.008 1
	45	5.042 9	10.428 7	50.294 8	100.242 9	200.207 7	250.072 4	290.065 1	294.944 1
		45.154 4	45.154 8	45.150 3	45.121 0	45.060 7	45.030 6	45.010 8	45.008 1

由表 1、表 2 可见:

1)算法具有较高的估计精度。偏差角估计值绝对误差小于 0.1575°。对于不同故障类型,故障距离估计精度略有差异。单相电弧接地测距精度较高,最大测距绝对误差小于 150 m;两相电弧短路估计精度略有下降,最大测距绝对误差小于 500 m。这是由于故障电压计算中误差累加造成的。

2)测量信号偏差角的变化对测量精度影响不大,因此算法具有较好的稳定性。逐渐增加两侧测量信号偏差角 ϕ 至 $-3\pi/4$,算法均快速收敛,并且始终保持了较高的测距精度。

3)通过仿真观察,在可行域 $\phi\in[-\pi,\pi]$、$x\in[0,1]$较大的范围内,观测误差函数是凸的,且存在唯一的极小值,如图 2 所示。因此,算法具有较大的收敛范围。

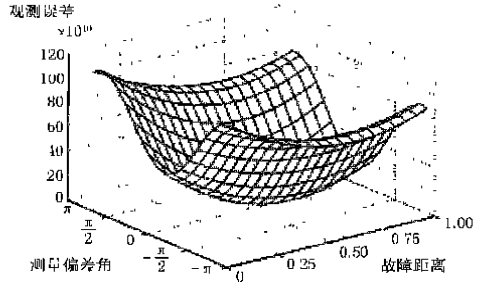

图 2　可行域内观测误差

Fig. 2　Estimating error on permitting area

4)通过大量仿真研究发现:对于给定的不同初值 $\phi^{(0)}\in[-\pi,\pi]$、$x^{(0)}\in[0,1]$,一般经过 5～7 步迭代,算法都能以较快的收敛速度收敛至相同结果。图 3 给出了系统功角差为 $\theta=80°$,观测偏差角为 $\phi=-\frac{3\pi}{4}$,线路 100 km 处发生单相接地,故障距离的迭代计算过程。

其中曲线①:$[\phi^{(0)}\quad x^{(0)}]=[-\pi\quad 0.5]$;

曲线②:$[\phi^{(0)}\quad x^{(0)}]=[-\frac{\pi}{2}\quad 0.5]$;

曲线③:$[\phi^{(0)}\quad x^{(0)}]=[0\quad 0.5]$;

曲线④:$[\phi^{(0)}\quad x^{(0)}]=[\frac{\pi}{2}\quad 0.5]$;

曲线⑤:$[\phi^{(0)}\quad x^{(0)}]=[\pi\quad 0.5]$。

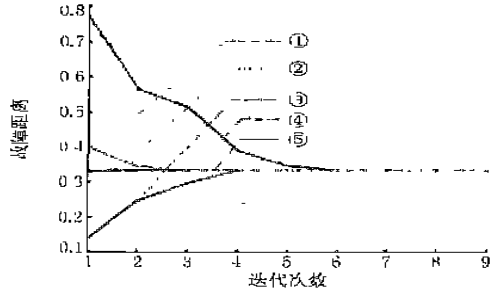

图 3　在不同初值下故障距离迭代计算

Fig. 3　Iterative calculation of fault location on different initial values

比较发现:经过约 6 次迭代,上述不同初值收敛

到相同结果。

3 结论

本文基于分布参数线路模型,并计及弧光电阻非线性特性影响,提出了双端非同步数据测距的新方法。研究结果表明:

1)使用非同步数据非线性估计的双端测距算法降低了对两侧测量信号同步的要求。

2)双端非同步数据非线性估计测距算法具有较强的适应性。由于利用了故障点电压各次分量的序分量相等的特点构造观测方程,因此算法对于各种类型的瞬时性故障、永久性故障都能实现精确测距,不需要对算法进行任何调整。

3)非线性估计双端非同步数据故障测距算法具有较好的稳定性、较大的收敛范围和较高的测距精度,克服了以往双端测距算法的缺陷,具有较大的实用价值。

参考文献:

[1] Lin Y H, Liu C W, Yu C H. A New Fault Locator for Three-terminal Transmission Lines-using Two-terminal Synchronized Voltage and Current Phasors[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002,17(2): 452-459.

[2] Brahma S M, Girgis A A. Fault Location on a Transmission Line Using Synchronized Voltage Measurements[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2004:1-4.

[3] 孙立山,孙桂英,王晓媛,等. 平行双回线两点故障测距算法研究[J]. 继电器,2000,28(2):1-3.

SUN Li-shan, SUN Gui-ying, WANG Xiao-yuan, et al. Research on a New Fault Location Method for Parallel Transmission Lines Two Points Fault[J]. Relay,2000,28(2):1-3.

[4] 苏进喜,罗承沐,解子凤,等. 利用双端电气量的高压长线故障测距算法[J]. 清华大学学报,2000, 40(7): 27-30.

SU Jin-xi, LUO Cheng-mu, XIE Zi-feng, et al. Fault Location Algorithm for Long Distance Transmission Lines Using Samples at Both Ends[J]. Tsinghua University Science & Technology, 2000,40(7): 27-30.

[5] Novodel D, Hart D G. Unsynchronized Two-terminal Fault Location Estimation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(1): 130-137.

[6] Girgis A A, Hart D G, Peterson W L. A New Fault Location Technique for Two and Three Terminal Lines[J]. Trans on Power Delivery, 1992,7(1): 98-107.

[7] 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故障测距算法及其实现[J]. 电网技术, 2000,24(2):45-49.

SHU Hong-chun, SI Da-jun, GE Yao-zhong, 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.

[8] Zoric K J, Djuric M B. Arcing Fault Detection on Overhead Lines from the Voltage Signals[J]. Electrical Power &Energy Systems, 1997,19(5): 299-303.

[9] Johns A T, Aggarwal R K, Song Y H. Improved Techniques for Modeling Fault Arcs on Faulted EHV Transmission Systems[J]. IEE Proc — Gener, Transm, and Distrib, 1994, 41(2): 148-154.

收稿日期: 2004-05-10; **修回日期**: 2004-10-18

作者简介:

徐 鹏(1971-),男,硕士研究生,从事电力系统测距研究;

王 钢(1966-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统继电保护及自动化、电力电子;

李晓华(1975-),女,博士,讲师,主要研究方向为电力系统继电保护;E-mail: eplxh@scut.edu.cn

张 尧(1948-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统电压稳定、故障测距及电力市场等领域的科研和教学工作。

A nonlinear-estimation algorithm for two-terminal fault location on asynchronous data

XU Peng, WANG Gang, LI Xiao-hua, ZHANG Yao

(Department of Electric Power Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: This paper puts forward a novel fault location algorithm on asynchronous two-terminal data without limitation of fault types. On the basis of the equivalency of the sequence component of harmonic voltages estimated from two terminals on fault points, this paper offers a 6N-dimension-equation for fault location on asynchronous data and also applies a nonlinear states estimation method to calculate the minimum mean square optimal root. The simulation shows good stability and high accuracy of the algorithm.

This project is supported by National Natural Science Foundation of Guangdong Province(No. 990557).

Key words: fault location; estimating equation; non-linear estimation