

几种工频双端测距算法对测量误差的适应性研究

李永坚¹, 黄绍平¹, 唐剑东²

(1. 湖南工程学院电气信息学院, 湖南 湘潭 411104; 2. 湖南省电力公司超高压管理局, 湖南 长沙 410015)

摘要: 在准确获得输电线路参数和线路两端电气量的条件下, 常用的工频双端测距算法均能够给出精确的定位结果。但实际应用中, 电压互感器和电流互感器不可避免地存在测量误差, 从而可能导致定位算法的精度降低甚至故障定位失败。在介绍和比较四种常用的双端测距算法原理的基础上, 引入电流、电压互感器的测量误差并结合工程实际对该测量误差进行化简, 在提出的几种典型的测量误差模式下, 仿真比较了测量误差对各种双端测距算法测量精度的影响。仿真结果表明基于参数修正的 Π 型线路模型的序电压比算法对各种测量误差模式的适应性更好。

关键词: 故障测距; 测量误差; 适应性研究; 分布参数

Research on adaptability to measurement error for several two-terminal fault location algorithms

LI Yong-jian¹, HUANG Shao-ping¹, TANG Jian-dong²

(1. Dept of Elec and Information Eng, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411104, China;

2. EHV Administration of Hunan Electric Power Corporation, Changsha 410015, China)

Abstract: On the condition of getting the parameters of transmission line and electrical quantities of two terminal of transmission line, the common two-terminal fault location algorithms can give an accurate fault location. But in the real application, the values of voltages and currents which are transferred by voltage transformers and current transformers have errors inevitably. Because of this, the accuracy of fault location algorithms may decrease or even a failed fault location turns out. In this paper, by introducing and comparing the principles of four common two-terminal fault location algorithms, the measurement errors of voltage transformers and current transformers are introduced and simplified based on practical engineering. Under the several typical models of measurement errors proposed, the adaptability to measurement errors for all kinds of two-terminal fault location algorithms is compared by simulation. Results of simulation prove that the sequence voltage ratio algorithm of Π line model based on data correction has the best adaptability.

Key words: fault location; measurement error; adaptability research; distributed parameter

中图分类号: TM773; TM74 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)14-0134-06

0 引言

输电线路故障测距就是当输电线路发生故障时, 利用线路一端或两端的实时测量信息确定故障点位置。准确的故障测距技术可以减轻巡线负担, 加快线路恢复供电, 减少因停电造成的经济损失。测距方法可大致分为双端测距和单端测距两种。单端测距由于无法克服故障点过渡电阻等因素对测距精度的影响, 在实际工程难以广泛应用。而双端测距原理上可以消除过渡电阻系统阻抗等因素的影

响, 但其主要缺点是需要通过传递双端信息^[1]。近年来随着通信技术的发展及其在电力系统中的广泛应用, 基于双端定位原理的研究引起了高度重视, 这也是未来输电线路故障精确定位的重要发展方向。

双端故障测距利用两侧的故障信息进行故障测距, 利用不同的故障信息, 采用不同的数学处理方法, 可以得到很多不一样的故障测距算法^[2]。目前大部分的测距算法研究主要着眼于双端故障信息的同步及算法本身的精确度问题, 很少涉及测量误差等干扰因素的影响, 而实际使用中电压传感器、电流传感器和定位装置本身硬件原因导致的测量误差不可避免地将会影响故障定位算法所用到的电压、

基金项目: 湖南省 2007 年自然科学基金资助项目 (07jj6079); 湖南工程学院重点学科基金资助项目

电流量的幅值和相位, 从而导致定位算法的精度降低甚至故障定位失败^[3]。因此, 研究测量误差对双端测距算法的影响, 对提高故障定位技术实际应用中的稳定性、适应性和抗干扰性具有重要意义。

本文在引入电流、电压互感器测量误差的基础上, 对四种常用的双端测距算法进行仿真, 分析和比较了这些算法在各种测量误差模式下的适应性。

1 双端测距算法

1.1 双端测距的一般思路

双端测距方法原理图如图 1 所示。其中, 两端系统电源为 \dot{E}_m 、 \dot{E}_n , 系统阻抗为 Z_m 、 Z_n , 线路采用分布参数, 总长度为 L , 单位长度电阻、电感、电容为 R_m 、 L_m 、 C_m , 过渡电阻为 Z_f , 两端母线电压为 \dot{U}_m 、 \dot{U}_n , 两端线路侧电流为 \dot{I}_m 、 \dot{I}_n , 流经故障点过渡电阻处的电流为 \dot{I}_f 。同时由于双端系统很难保证数据同步, 故设 N 端落后 M 端 δ° , 即不同步角为 δ° 。

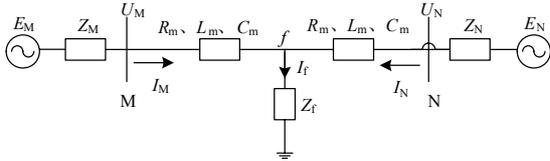


图 1 双电源接地故障图

Fig.1 Ground fault with two terminal power sources

以线路 M (N) 端的电压、电流作为边界条件, 可以推导出以此端表示的线路任一点的 x 电压方程:

$$\begin{cases} \dot{U}_x = \dot{U}_M \cosh(\gamma x) - Z_C \dot{I}_M \sinh(\gamma x) \\ \dot{U}_x = \dot{U}_N e^{-j\delta} \cosh \gamma(l-x) - \dot{I}_N Z_C e^{-j\delta} \sinh \gamma(l-x) \end{cases} \quad (1)$$

假设在 M 端 x 处发生故障, 那么故障点电压可用两端电气量表示为:

$$\begin{cases} \dot{U}_f = \dot{U}_M \cosh(\gamma x) - Z_C \dot{I}_M \sinh(\gamma x) \\ \dot{U}_f = \dot{U}_N e^{-j\delta} \cosh \gamma(l-x) - \dot{I}_N Z_C e^{-j\delta} \sinh \gamma(l-x) \end{cases} \quad (2)$$

对上式进行取幅值运算, 由于 $e^{-j\delta}$ 不影响幅值, 故可以消掉, 即:

$$\begin{cases} |\dot{U}_M \cosh(\gamma x) - Z_C \dot{I}_M \sinh(\gamma x)| = \\ |\dot{U}_N e^{-j\delta} \cosh \gamma(l-x) - \dot{I}_N Z_C e^{-j\delta} \sinh \gamma(l-x)| \end{cases} \quad (3)$$

解此式可以得到 x 的值, 即故障点的位置, 这种求幅值的办法可以有效地解决不同步角的问题。

如果已知双端数据是同步的, 或是已知不同步角, 也可以采用下述方法进行故障测距。由式 (2)

可得:

$$\begin{cases} \dot{U}_M \cosh(\gamma x) - Z_C \dot{I}_M \sinh(\gamma x) = \\ \dot{U}_N e^{-j\delta} \cosh \gamma(l-x) - \dot{I}_N Z_C e^{-j\delta} \sinh \gamma(l-x) \end{cases} \quad (4)$$

因为 $\cosh \gamma x = \frac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2}$, $\sinh \gamma x = \frac{e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2}$,

所以可以得到:

$$\begin{aligned} e^{2\gamma x} &= e^{2\beta x} (\cos 2\alpha x + j \sin 2\alpha x) = \\ \frac{e^{\gamma l} (\dot{U}_N - \dot{I}_N Z_C) e^{-j\delta} - \dot{U}_M - \dot{I}_M Z_C}{\dot{U}_M - \dot{I}_M Z_C - e^{\gamma l} (\dot{U}_N + \dot{I}_N Z_C) e^{-j\delta}} \end{aligned} \quad (5)$$

令

$$\frac{e^{\gamma l} (\dot{U}_N - \dot{I}_N Z_C) e^{-j\delta} - \dot{U}_M - \dot{I}_M Z_C}{\dot{U}_M - \dot{I}_M Z_C - e^{\gamma l} (\dot{U}_N + \dot{I}_N Z_C) e^{-j\delta}} = A + jB$$

所以 $x = \frac{1}{2\alpha} \operatorname{argtan}\left(\frac{B}{A}\right)$ 。

采用这种方法不存在伪根问题, 但要知道不同步角。如果故障录波器上装设了 GPS, 那么经过采样值的同步处理, 不同步角可以认为是零, 否则不同步角可以通过故障前的数据求得。

1.2 几种常用双端测距算法原理及比较

根据输电线路故障定位模型的不同, 双端测距算法可以归属为两类: 集中参数线路模型和分布参数线路模型。建立在集中参数线路模型基础上的算法比较简单, 但精度不够; 建立在分布参数模型基础上的算法精确, 但计算复杂^[4]。以下介绍几种常用的长线路故障定位算法。

1.2.1 基于集中参数 Π 型线路模型的故障定位算法

该算法将故障点两边的线路分别用 Π 型等值电路表示, 将故障点一边线路上分布电容的影响用两个并联的集中导纳加以近似考虑。另外考虑到线路电导相对于电容在导纳中的比重很小, 可以忽略, 所以一般集中导纳仅考虑电容^[4]。

1.2.2 基于多个串接 Π 型线路模型的故障定位算法

该算法故障点两边的线路还可以分别用多个串接的 Π 型等值电路表示。基于这种模型, 采用对称分量法的等效序网, 通过迭代求解负序电压在线路上的分布进行故障定位^[5]。迭代计算公式如下:

$$\begin{cases} \Delta \dot{I}(x) = \dot{U}(x)(Y(x) dx) \\ \dot{I}'(x) = \dot{I}(x) - \Delta \dot{I}(x) \\ \Delta \dot{U}(x) = \dot{I}(x)(Z(x) dx) \\ \dot{U}'(x) = \dot{U}(x) - \Delta \dot{U}(x) \end{cases} \quad (6)$$

由故障数据经对称分析法，计算出线路一端的负序电压分量，利用上面的迭代公式，选定步长 dx ，求出沿线各点的负序电压分量，负序电压最大点即为故障点。

1.2.3 基于分布参数线路模型的故障定位算法

该方法采用分布参数线路模型，以考虑导纳和阻抗的分布情况，适合于长距离输电线路的精确测距。长线路的均匀分布参数模型如图 2 所示。

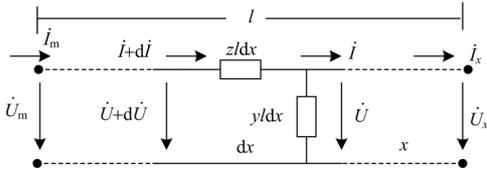


图 2 长线路的分布参数模型

Fig.2 Distributed parameter model of long transmission line

图中： $z l = \gamma + j\omega L$ ， $y l = g + j\omega C$ ，分别表示单位长度线路的阻抗和导纳； \dot{U} 、 \dot{I} 分别表示线路长度为 x 处的电压、电流； dx 为长度的微元； l 为线路全长。

$$U_{fm2} = |\dot{U}_{m2} \cosh(\lambda x_m) - Z_c \dot{I}_{m2} \sinh(\lambda x_m)|$$

$$U_{fn2} = |\dot{U}_{n2} \cosh(\lambda x_n) - Z_c \dot{I}_{n2} \sinh(\lambda x_n)|$$

由上式求得的负序分量最大点即为故障点位置^[6]。

1.2.4 基于参数修正的 Π 型线路模型的序电压比较法

设线路发生不对称性故障，根据线路两端的数据可以推算出正序电压分布和负序电压分布，不考虑两端数据采样同步，那么在故障点应该满足：

$$U_{f1m} = U_{f1n}$$

$$U_{f2m} = U_{f2n}$$

式中的电压均为模值； U_{f1m} 、 U_{f1n} 分别为从 m 端和 n 端推算的正序电压模值； U_{f2m} 、 U_{f2n} 分别为从 m 端和 n 端推算的负序电压模值。

当仅 m 端或 n 端电压测量有偏移时，由于推算的电压分布出现偏差，在故障点不满足等式。因此一种适宜的方法是综合考虑正序电压分布和负序电压分布，即利用

$$\frac{U_{f1m}}{U_{f1n}} = \frac{U_{f2m}}{U_{f2n}} = 1$$

建立以下方程：

$$F_{dw} = \left| 1 - \frac{U_{f1m} U_{f2n}}{U_{f2m} U_{f1n}} \right|$$

作为新的定位函数，满足下面等式的线路点为故障点：

$$F_{dw} = 0$$

该算法基于电压分布，因而不受过渡电阻、系统运行、故障类型、数据不同步的影响；曲线交点也采用了左、右两侧搜索，取平均的方法，可以有效消除“模糊区”对寻找故障点的不利影响^[7]。

2 测量误差的简化

双端同步采样的输电线路故障定位算法是不存在原理性误差的，在准确的获得输电线路参数和线路两端的电压和电流的采样值的前提下，能够给出精确的定位结果^[11]。但实际应用中，电压和电流的采样值是通过线路一次侧的电压互感器和电流互感器传变过来的，通常短路故障发生后系统电压一般会降低，故电压互感器不会给电压的变换引入较大误差。在最恶劣的情况下，短路电流会增大为额定电流的几十倍，而且还会叠加直流非周期分量，使电流互感器的铁芯发生饱和，二次电流畸变，导致无法正确传变线路中的短路电流^[9-10]。因此，电压传感器、电流传感器和定位装置本身硬件原因导致的测量误差不可避免地将会影响故障定位算法所用的电压、电流量的幅值和相位。

由于篇幅限制，本文只讨论测量误差对各序电压分量的影响，其思路同样也适用于各序电流分量的误差分析。设三相电压真值为 \dot{U}_a 、 \dot{U}_b 、 \dot{U}_c ，分别具有 $\Delta \dot{U}_a$ 、 $\Delta \dot{U}_b$ 、 $\Delta \dot{U}_c$ 的偏差，计入偏差后的电压为 $\Delta \dot{U}'_a$ 、 $\Delta \dot{U}'_b$ 、 $\Delta \dot{U}'_c$ ，则计入电压偏差时各序电压分量为：

$$\begin{bmatrix} \dot{U}'_1 \\ \dot{U}'_2 \\ \dot{U}'_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_a + \Delta \dot{U}_a \\ \dot{U}_b + \Delta \dot{U}_b \\ \dot{U}_c + \Delta \dot{U}_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_a \\ \dot{U}_b \\ \dot{U}_c \end{bmatrix} + \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \dot{U}_a \\ \Delta \dot{U}_b \\ \Delta \dot{U}_c \end{bmatrix} \quad (7)$$

得到序分量电压误差

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{U}'_1 \\ \Delta \dot{U}'_2 \\ \Delta \dot{U}'_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \Delta \dot{U}_a + a \Delta \dot{U}_b + a^2 \Delta \dot{U}_c \\ \Delta \dot{U}_a + a^2 \Delta \dot{U}_b + a \Delta \dot{U}_c \\ \Delta \dot{U}_a + \Delta \dot{U}_b + \Delta \dot{U}_c \end{bmatrix} \quad (8)$$

当 $\Delta \dot{U}_a = \Delta \dot{U}_b = \Delta \dot{U}_c = \Delta \dot{U}$ 时，

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{U}_1 \\ \Delta \dot{U}_2 \\ \Delta \dot{U}_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \Delta \dot{U} + a\Delta \dot{U} + a^2\Delta \dot{U} \\ \Delta \dot{U} + a^2\Delta \dot{U} + a\Delta \dot{U} \\ \Delta \dot{U} + \Delta \dot{U} + \Delta \dot{U} \end{bmatrix} = \frac{\Delta \dot{U}}{3} \begin{bmatrix} 1+a+a^2 \\ 1+a^2+a \\ 1+1+1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{\Delta \dot{U}}{3} \end{bmatrix} \quad (9)$$

可见, 对于三相具有完全相同的测量误差时, 序分量中的正序和负序分量不会产生偏差。

一般传感器产生的测量误差三相不仅模值不等, 且相位也不同, 不仅会导致测量值的大小发生变化, 还会导致相位的偏移。但是如果考虑这样的误差情况, 将会使分析非常复杂。考虑到现场测量时, 一般每相的相位偏移不大, 所以在下面的仿真分析中, 可假设每相引入的误差与该相真实测量值具有相同的相位。

3 仿真分析

为方便表达, 将第 1 节介绍的常用的、有代表性的四种双端工频电气量测距算法依次称为算法 1、算法 2、算法 3 和算法 4。算法均采用比较序电压的基本思想推导而来, 采用图 3 所示的系统进行仿真。

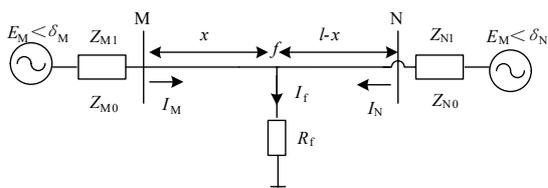


图 3 仿真系统示意图

Fig.3 Schematic diagram of simulation system

图中: M 和 N 为母线, $E_M \angle \delta_M$ 和 $E_N \angle \delta_N$ 为电源, Z_{M1} , Z_{N1} , Z_{M0} 和 Z_{N0} 是两端的正、零序系统阻抗; 线路 MN 全长 340 km; 正序: 电抗 0.278 3 Ω/km , 电阻 0.027 Ω/km , 电容 0.012 72 $\mu\text{F}/\text{km}$ 。零序: 电抗 0.649 43 Ω/km , 电阻 0.194 83 Ω/km , 电容 0.008 982 $\mu\text{F}/\text{km}$ 。故障点为 F, R_f 为过渡电阻, x 为故障点距 M 端母线的距离。

定义综合评比指标如下:

相对误差: $e = \frac{\text{实际故障距离} - \text{测量距离}}{\text{输电线路全长}} \times 100\%$; 绝

对误差: $E = \text{实际故障距离} - \text{测量距离}$; 最大绝对误差:

$$E_{\max} = \max(|E|)$$

3.1 不引入测量误差的仿真结果

由于双端工频电气量故障测距算法受故障类型、过渡电阻、系统运行方式、系统功率角以及线路长度等因素的影响比较小, 测距误差主要是故障交点求解的计算误差^[1]。因此考虑以下故障情况: 故障点位置的选择: 线路 MN 全长的 5%、10%、30%、50%、70%、90%、95%; 接地电阻的选择: 0~300 Ω ; M 端电势超前 N 端电势 10°; 仿真结果如表 1 所示。

表 1 各种测距算法的误差统计

	算法 1	算法 2	算法 3	算法 4
最大绝对误差 / %	3.05	5.9	1.98	1.55
平均误差 / %	2.90	3.03	1.16	0.94

从结果分析可知:

(1) 算法 3、算法 4 由于采用了较算法 1、算法 2 更精确的线路模型, 所以故障定位精度更好; 虽然算法 3 基于分布参数模型, 但求取曲线交点的算法不优, 因此在精度上与算法 4 相当, 后者理论上更精确;

(2) 算法 2 所采用的模型虽然较算法 1 更精确, 但是其迭代公式中利用前点电压、电流计算后点的电压、电流, 导致了误差的累积, 因此其计算精度反而不如算法 1。

3.2 引入测量误差的仿真结果

在电压、电流的真实值上计入误差时, 根据一般工程上的误差情况, 可将测量误差归结为下面四种误差模式, 如表 2 所示。

表 2 电压电流测量误差的不同模式

Tab.2 Modes measurement error for voltages and currents

误差情况	U_m	I_m	U_n	I_n
E1	5%	5%	-5%	-5%
E2	-5%	-5%	5%	5%
E3	5%	-5%	5%	-5%
E4	-5%	5%	-5%	5%

针对四种误差情况，利用 EMTP 进行了大量的仿真计算，下面给出几组典型结果，如表 3、4、5 所示（其中“/”代表测距失败）。

表 3 故障点距离 M 侧 10 km 仿真结果

Tab.3 Simulation results of fault point for 10 km from the M side of the point of failure

R / Ω		算法 1	算法 2	算法 3	算法 4
0	E1	/	/	/	0.22
	E2	13.11	14.12	12.5	0.29
	E3	4.22	2.73	/	4.22
	E4	5.21	6.15	4.47	3.49
100	E1	/	/	/	0.18
	E2	13.12	14.12	12.51	0.32
	E3	4.38	2.71	/	4.31
	E4	5.21	6.15	4.47	3.63
200	E1	/	/	/	0.06
	E2	13.26	14.26	12.66	0.46
	E3	4.24	2.56	/	4.09
	E4	5.32	6.26	4.59	3.68
平均误差 / %		7.56	7.67	8.53	2.06
E_{max} / %		13.26	14.26	12.66	4.31

表 4 故障点距离 M 侧 100 km 仿真结果

Tab.4 Simulation results of fault point for 100 km from the M side of the point of failure

R / Ω		算法 1	算法 2	算法 3	算法 4
0	E1	12.56	12.24	12.74	1.82
	E2	13.51	12.62	13.51	2.21
	E3	0.87	0.86	0.87	0.88
	E4	0.76	0.77	0.68	0.01
100	E1	12.56	12.24	12.74	1.76
	E2	13.26	12.62	13.52	2.15
	E3	0.82	0.65	0.88	1.04
	E4	0.71	0.79	0.68	0.83
200	E1	12.52	12.18	12.68	1.75
	E2	13.32	12.68	13.54	2.24
	E3	0.88	0.71	0.93	1.19
	E4	0.68	0.74	0.65	0.99
平均误差 / %		6.86	6.59	6.94	1.39
E_{max} / %		13.32	12.68	13.54	2.24

表 5 故障点距离 M 侧 200 km 仿真结果

Tab.5 Simulation results of fault point for 200 km from the M side of the point of failure

R / Ω		算法 1	算法 2	算法 3	算法 4
0	E1	12.56	13.56	12.13	2.43
	E2	/	9.85	/	2.93
	E3	4.85	2.97	5.47	5.07
	E4	5.03	6.06	4.51	4.28
100	E1	12.53	13.53	12.09	2.31
	E2	/	9.91	/	2.85
	E3	4.91	3.03	5.53	4.93
	E4	5.05	6.03	2.13	4.03
200	E1	12.38	13.38	11.94	2.22
	E2	/	/	/	3.07
	E3	5.06	3.18	5.68	5.21
	E4	4.85	5.91	4.34	4.01
平均误差 / %		5.60	7.28	5.32	3.61
E_{max} / %		12.56	13.56	12.13	5.21

由以上仿真结果可知：

(1) 引入测量误差后，四种算法的平均误差均大幅度增加，但算法 4 在各种误差模式下始终能保持较小的平均误差，表明算法 4 对测量误差的适应性最好。

(2) 当测量误差模式和接地电阻变化时，前 3 种算法均出现测距失败的情况，而算法 4 则一直能保持很好的稳定性。

4 结语

本文在分析电流、电压互感器测量误差对测距算法影响的基础上，引入了四种测量误差模式；在这四种误差模式下，对常用的四种双端测距算法对测量误差的适应性进行了仿真分析。数值仿真结果表明基于参数修正的 Π 型线路模型的序电压比算法对各种测量误差模式的适应性最好。

参考文献

- [1] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.
GE Yao-zhong. New types of protective relaying and fault location their theory and technigues[M]. Xi'an : Xi'an Jiaotong University Press, 1996.
- [2] 蔡德礼. 高压输电线路故障点定位的一种新的计算机方法[J]. 重庆大学学报, 1982(2): 1-14.

- CAI De-li. A novel computer algorithm for power transmission line fault location[J]. J Chongqing Univ, 1982(2): 1-14.
- [3] 毕潇昶, 李学农, 陈延枫, 等. 一种双端故障测距算法的仿真及现场实例分析[J]. 高电压技术, 2006, 32 (3): 105-107.
- BI Xiao-yi, LI Xue-nong, CHEN Yan-feng, et al. Simulation of two-terminal based fault location algorithm and the analysis of the practical data[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32 (3): 105-107.
- [4] 袁宇春, 刘晓川. 工频量双端测距综述[J]. 继电器, 2006, 34 (23): 74-77.
- YUAN Yu-chun, LIU Xiao-chuan. Survey of fault location algorithm based on two-terminal data of transmission line[J]. Relay, 2006, 34 (23): 74-77.
- [5] 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确算法[J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (9): 24-27.
- TENG Lin, LIU Wan-shun, LI Ying, et al. A novel practical accurate fault location algorithm for HV transmission line[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (9): 24-27.
- [6] 陈铮, 苏进喜, 吴欣荣. 基于分布参数模型的高压输电线路故障测距算法[J]. 电网技术, 2000, 24 (11): 31-33.
- CHEN Zheng, SU Jin-xi, WU Xin-rong. Fault location algorithm for high voltage transmission line based on distributed parameter[J]. Power System Technology, 2000, 24 (11): 31-33.
- [7] 全玉生, 杨敏中, 王晓蓉. 工频双端故障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 (5): 28-32.
- QUAN Yu-sheng, YANG Min-zhong, WANG Xiao-rong. A new algorithms and their robustness for two-terminal fault location on HV transmission line[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (5): 28-32.
- [8] Novosel D, Hart D G, Udren E, et al. Unsynchronized two-terminal fault location estimation[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1996, 11 (1): 130-138.
- [9] 宋国兵, 索南加乐, 康小宁. 不受线路参数影响的双回线双端故障定位方法[J]. 电力系统自动化, 2006, 24 (2): 28-31.
- SONG Guo-bing, SUONAN Jia-le, KANG Xiao-ning. Two-terminal fault location algorithm uninfluenced by parameters of parallel transmission lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 24 (2): 28-31.
- [10] 梁远升, 王钢, 李海锋. 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 (18): 17-21.
- LIANG Yuan-sheng, WANG Gang, LI Hai-feng. Fault location algorithm based on time-frequency-domain with two terminals asynchronous[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (18): 17-21.
- [11] Zamora I, Minzmbres J F, Mazon A J, et al. Fault location on two-terminal transmission lines based on voltages[J]. IEE Proceedings Generation, Transmission & Distribution, 1996, 143 (1): 1-6.

收稿日期: 2009-08-30; 修回日期: 2009-11-03

作者简介:

李永坚 (1971-), 男, 副教授, 硕士, 主要从事电力系统稳定性研究; E-mail: liyjxt@126.com

黄绍平 (1964-), 男, 教授, 硕士, 主要从事无功补偿、智能化开关设备研究;

唐剑东 (1974-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事电力系统继电保护研究。

(上接第 66 页 continued from page 66)

- [7] Baran M E, Wu F F. Optimal capacitor placement on distribution systems[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1989, 4 (1): 725-732.

收稿日期: 2009-09-01; 修回日期: 2009-10-05

作者简介:

李如琦 (1959-), 女, 副教授, 硕士生导师, 研究方向

为电力系统规划、负荷预测、电力系统分析与计算; E-mail: liruqi59@gxu.edu.cn

谢林峰 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为地方电力系统、电网规划; E-mail: linfengxie@163.com

王宗耀 (1981-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统负荷预测的理论与电力系统规划。