

一种考虑对各种误差综合修正的线路双端测距算法

梁华为, 刘万顺, 刘平, 邵宇

(华北电力大学电力系, 北京 102206)

摘要: 在输电线路故障测距的研究中, 由于线路参数可能变化或提供的参数不准确, 以及其他不利因素的存在, 对故障测距的精度会产生很大的影响。该文提出了一种基于分布参数模型和等效参数估计的双端测距算法, 该算法只利用故障前的电压电流, 在线估计出线路等效参数, 对各种误差能够起到综合补偿的效果, 从而提高了测距精度。EMTP 仿真结果表明, 该算法较之不带参数修正的算法测距精度有明显提高, 具有很强的参数自适应能力和收敛能力。

关键词: 故障测距; 等效参数估计; 分布参数模型

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)17-0007-04

0 引言

利用双端数据的故障定位方法, 由于克服了过渡电阻、系统运行方式以及对端系统阻抗的影响, 明显优于单端定位方法, 近年来受到了人们的普遍重视, 特别是随着电力系统自动化水平的提高和通信技术的发展, 对端的电流、电压数据的获得和利用已经没有什么技术问题, 因而采用双端数据进行故障测距愈来愈多。

输电线路参数一般是在一定的环境条件下通过实测获得的, 但在运行过程中并不是固定不变的, 随着温度、气候条件、大地电阻率等因素的变化, 线路参数可能偏移实际值, 线路长度也可能变化。另外, 由于其他因素 (PT, CT 变换和 A/D 采样等) 的误差也可能导致所测量的线路参数不准确, 因此考虑参数变化的影响是进一步提高测距精度所必须考虑的。

本文提出一种基于参数估计的双端测距新算法。首先利用故障瞬间前正常状态下的数据, 基于线路分布参数的双端不同步数据模型, 将与线路基本参数相关的特性参数如波的传播常数、波阻抗 Z_c , 连同不同步角一起迭代求解出。然后, 利用修正后的 Z_c 、和故障后电流、电压数据以及一特定的故障测距公式计算故障距离 x_0 。EMTP 仿真结果表明: 该算法较之不带参数估计的算法测距精度得到明显提高, 尤其在参数不准确的情况下, 该算法具有很强的参数自适应能力和很好的收敛能力。

1 新算法的基本原理

1.1 迭代方程的获得

输电线路单相分布参数模型如图 1 所示。

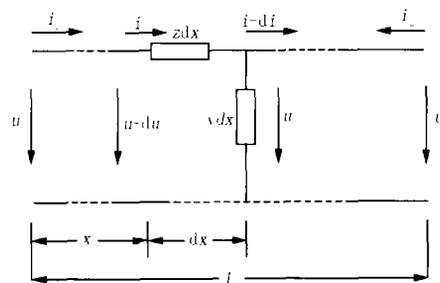


图 1 输电线路分布参数模型

Fig 1 Distributed parameter model of transmission line

由两端口网络知识可得, 如果已知末端电压电流相量 U_2 、 I_2 时, 沿线路任一点 x 处的电流、电压相量 U 、 I 为:

$$\begin{bmatrix} U \\ I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch}(x) & -Z_c \text{sh}(x) \\ -\frac{\text{sh}(x)}{Z_c} & \text{ch}(x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中: $\gamma = \sqrt{ZY}$; $Z_c = \sqrt{Z/Y}$ 。

通过上式, 如以 $x = l$ 代入, 则可得

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch}(l) & -Z_c \text{sh}(l) \\ -\frac{\text{sh}(l)}{Z_c} & \text{ch}(l) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

已知 U_1 、 I_1 时, U_2 、 I_2 表示为:

$$\begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch}(l) & -Z_c \text{sh}(l) \\ -\frac{\text{sh}(l)}{Z_c} & \text{ch}(l) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

设故障前母线 m 的三相电压相量分别为 U_{ma} 、 U_{mb} 、 U_{mc} , 三相电流相量分别为 I_{ma} 、 I_{mb} 、 I_{mc} ; 故障前母线 n 的三相电压相量分别为 U_{na} 、 U_{nb} 、 U_{nc} , 三相电流相量分别为 I_{na} 、 I_{nb} 、 I_{nc} ; 故障后母线 m 的三相电压相量为 U_{ma} 、 U_{mb} 、 U_{mc} , 三相电流相量分别为 I_{ma} 、

I_{mb} 、 I_{mc} ，故障后母线 n 的三相电压相量为 U_{na} 、 U_{nb} 、 U_{nc} ，三相电流相量分别为 I_{na} 、 I_{nb} 、 I_{nc} 。

利用故障瞬间前数据建立方程，以 n 端为标准，为两端数据不同步采样而产生的相位差，电压电流相量选择故障前正序分量，可得方程：

$$U_n e^{-j} = U_m \operatorname{ch}(l) - Z_C I_m \operatorname{sh}(l) \quad (4)$$

$$U_m e^j = U_n \operatorname{ch}(l) - Z_C I_n \operatorname{sh}(l) \quad (5)$$

由于线路的长度 l (两母线位移距离) 是已知的，因此可以从式 (4) 与式 (5) 利用牛顿-拉夫逊法迭代求解出其等效参数。

根据式 (4) 和式 (5) 两侧实虚部方程相等，可得到 4 个方程，迭代变量分别为不同步角、传播常数的实部、传播常数的虚部和线路参数 y 的虚部 y_i (y 的实部 $y_r = G_0$ 很小，忽略为零)。

$$f_1(\theta, \alpha, \beta, y_i) = 0 \quad (6)$$

$$f_2(\theta, \alpha, \beta, y_i) = 0 \quad (7)$$

$$f_3(\theta, \alpha, \beta, y_i) = 0 \quad (8)$$

$$f_4(\theta, \alpha, \beta, y_i) = 0 \quad (9)$$

1.2 测距方程的形成

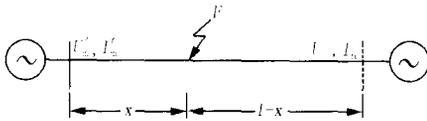


图 2 输电线路故障示意图

Fig 2 Schematic diagram of transmission line fault

对于图 2 所示的线路故障示意图，由传输线方程可得故障点 F 的电压相量为 (下标 1 表示使用电压、电流相量正序分量)：

$$U_{F1} = [U_{m1} \operatorname{ch}(x) - I_{m1} Z_C \operatorname{sh}(x)] e^j \quad (10)$$

$$U_{F1} = U_{n1} \operatorname{ch}(l-x) - I_{n1} Z_C \operatorname{sh}(l-x) \quad (11)$$

利用迭代后求出的等效参数、 α 、 β 和 y_i ，其中 $Z_C = 1/y$ ，根据故障后的方程：

$$U_{m1} \operatorname{ch}(x) e^j - Z_C I_{m1} \operatorname{sh}(x) e^j = U_{n1} \operatorname{ch}(l-x) - Z_C I_{n1} \operatorname{sh}(l-x) \quad (12)$$

将 $\operatorname{ch}(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$ ， $\operatorname{sh}(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$ 代入式 (12) 得：

$$e^{2x} [U_{m1} e^j - I_{m1} e^{ix} - e^{-l} (U_{n1} + I_{n1} Z_C)] = e^l (U_{n1} - I_{n1} Z_C) - U_{m1} e^j - I_{m1} Z_C e^j \quad (13)$$

进一步化简得：

$$e^{2x} = \frac{e^l (U_{n1} - I_{n1} Z_C) - U_{m1} e^j - I_{m1} Z_C e^j}{U_{m1} e^j - I_{m1} Z_C e^j - e^{-l} (U_{n1} + I_{n1} Z_C)} \quad (14)$$

令

$$A + jB = \frac{e^l (U_{n1} - I_{n1} Z_C) - U_{m1} e^j - I_{m1} e^j Z_C}{U_{m1} e^j - I_{m1} e^j Z_C - e^{-l} (U_{n1} + I_{n1} Z_C)} \quad (15)$$

$$\text{则 } x = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{B}{A} \right) \quad (16)$$

式中：为的虚部量，即 $= +j$ 。

这样的求解全面考虑了各种误差，提高了测距的精度。

2 测距算法的验证

2.1 EMTF仿真

对于所提出的测距方法，采用 EMTF 暂态仿真程序产生的暂态数据进行仿真验证。EMTF 仿真的系统图模型如图 3 所示。

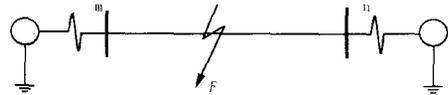


图 3 EMTF 仿真系统图模型

Fig 3 Model of EMTF simulation system

仿真的具体参数如下：

m 侧系统参数为： $Z_{sm0} = j69.999$ ， $Z_{sm1} = j63.0$ 。

n 侧系统参数为： $Z_{sn0} = j59.998$ ， $Z_{sn1} = j40.0$ 。

输电线路两端母线之间的位移为 300 km；故障接地电阻为 300，相间电阻为 20，具体参数如下：

$$Z_0 = 0.2931 + j1.2371 \quad / \text{km}$$

$$Z_1 = 0.05468 + j0.3223 \quad / \text{km}$$

$$C_0 = 0.005473 \quad \mu\text{F}/\text{km}$$

$$C_1 = 0.01095 \quad \mu\text{F}/\text{km}$$

设 T = 不准确正序参数 / 准确正序参数， S = 不准确零序参数 / 准确零序参数。

实际中，正序参数变化率大约为 $\pm 5\%$ ，零序参数变化率大约为 $-15\% \sim 8\%$ ，将零序和正序参数变化最大的 4 种情况进行了仿真，由于篇幅原因，本文只列出了 3 种情况。EMTF 仿真结果中的未加修正所得到的测距结果为使用不准确参数直接带入测距公式进行测距得到的结果，加入修正所得到的结果为利用不准确参数作为初值，进行迭代计算，再利用迭代所得的准确参数进行计算所得到的结果。

2.2 EMTF 仿真结果

表 1 仿真结果 1

Tab 1 Simulation result No one

故障类型	单相接地短路											
	未加修正						加入修正					
故障距离 /km	$S=0.85$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=1.05$	$S=0.85$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=1.05$
	结果	误差										
85	82.54	2.46	82.54	2.46	88.09	3.09	85.46	0.54	85.46	0.54	85.46	0.54
140	138.75	1.25	138.75	1.25	141.37	1.37	140.13	0.13	140.13	0.13	140.13	0.13
195	195.09	0.09	195.09	0.09	194.79	0.21	194.93	0.07	194.93	0.07	194.93	0.07
250	251.88	1.88	251.88	1.88	248.57	1.43	250.14	0.14	250.14	0.14	250.14	0.14

表 2 仿真结果 2

Tab 2 Simulation result No two

故障类型	两相相间短路											
	未加修正						加入修正					
故障距离 /km	$S=0.85$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=1.05$	$S=0.85$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=1.05$
	结果	误差										
85	82.35	2.65	82.35	2.65	87.46	2.46	85.04	0.04	85.04	0.04	85.04	0.04
140	138.78	1.22	138.79	1.21	141.12	1.12	140.01	0.01	140.01	0.01	140.01	0.01
195	195.17	0.17	195.17	0.17	194.80	0.20	194.97	0.03	194.97	0.03	194.97	0.03
250	251.70	1.70	251.70	1.70	248.59	1.41	250.05	0.05	250.05	0.05	250.05	0.05

表 3 仿真结果 3

Tab 3 Simulation result No three

故障类型	两相短路接地											
	未加修正						加入修正					
故障距离 /km	$S=0.85$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=1.05$	$S=0.85$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=1.05$
	结果	误差										
85	82.52	2.48	82.52	2.48	87.63	2.63	85.21	0.21	85.21	0.21	85.21	0.21
140	138.75	1.25	138.75	1.25	141.10	1.10	139.98	0.02	139.98	0.02	139.98	0.02
195	195.00	0.00	195.00	0.00	194.63	0.37	194.80	0.20	194.80	0.20	194.80	0.20
250	251.62	1.62	251.62	1.62	248.51	1.49	249.97	0.03	249.97	0.03	249.97	0.03

表 4 仿真结果 4

Tab 4 Simulation result No four

故障类型	三相短路											
	未加修正						加入修正					
故障距离 /km	$S=0.85$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=1.05$	$S=0.85$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=1.05$
	结果	误差										
85	81.37	3.63	81.36	3.64	86.58	1.58	84.11	0.89	84.11	0.89	84.11	0.89
140	139.31	0.69	139.69	0.31	141.94	1.94	140.87	0.87	140.87	0.87	140.87	0.87
195	195.93	0.93	195.93	0.93	195.48	0.48	195.69	0.69	195.69	0.69	195.69	0.69
250	252.01	2.01	252.01	2.01	248.89	1.11	250.36	0.36	250.36	0.36	250.36	0.36

表 5 仿真结果 5

Tab 5 Simulation result No five

故障类型	三相短路接地											
	未加修正						加入修正					
故障距离 /km	$S=0.85$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=1.05$	$S=0.85$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=0.95$	$S=1.08$	$T=1.05$
	结果	误差										
85	81.15	3.85	81.15	3.85	86.38	1.38	83.90	1.10	83.90	1.10	83.90	1.10
140	139.21	0.79	139.78	0.22	142.02	2.02	140.96	0.96	140.96	0.96	140.96	0.96
195	196.08	1.08	196.08	1.08	195.63	0.63	195.83	0.83	195.83	0.83	195.83	0.83
250	252.09	2.09	252.09	2.09	248.97	1.03	250.43	0.43	250.43	0.43	250.43	0.43

3 结论

任何测距算法中的电压和电流都是经 PT和 CT变换和 A/D采样计算出来的,各个环节不可避免地会引入误差,加之线路参数有可能不准确等,最终都将会影响测距精度。本文利用故障前一周波电压电流数据,结合故障前输电线路的两组方程,进行迭代,求解出线路经过修正后得到的等效参数,从原理上对各种因素的影响作了综合的考虑。从以上的仿真结果可以看出,本算法较之不带参数估计的算法,测距精度有了明显的提高。大量的仿真结果表明,该算法对于各种故障类型和过渡电阻的情况都是有效的。

参考文献:

- [1] 车仁飞,梁军,孟昭勇.一种考虑线路参数变化的输电线路双端测距算法[J].中国电力,2004,37(2):45-49.
CHE Ren-fei, LANG Jun, MENG Zhao-yong. A Fault Location Algorithm for Two Terminal Line Considering the Variation of Line Parameter[J]. Electric Power, 2004, 37(2): 45-49.

- [2] 全玉生,张煜,邱庆春,等.基于GPS的双端故障定位新算法[J].电网技术,2004,28(6):63-66.
QUAN Yu-sheng, ZHANG Yu, QIU Qing-chun, et al. A New Two Terminal Fault Location Algorithm Based on GPS[J]. Power System Technology, 2004, 28(6): 63-66.
- [3] 陈铮.高压输电线路故障定位组合解决方案的研究(博士学位论文)[D].北京:清华大学,2002.
CHEN Zheng. A Combination Solution of Fault Location for High Voltage Transmission Lines, Doctoral Dissertation [D]. Beijing: Tsinghua University, 2002.
- [4] Bo Z Q, Weller G, Jiang F, et al. Application of GPS Based Fault Location Scheme for Distribution System [A]. International Conference on Power System Technology Proceeding Beijing: 1998.

收稿日期: 2004-11-10; 修回日期: 2005-01-10

作者简介:

梁华为(1981-),男,硕士研究生,研究方向为输电线路故障测距; E-mail: llw007llw@ncepubj.edu.cn

刘万顺(1941-),男,教授,长期从事电力系统暂态仿真方面的研究;

刘平(1975-),男,硕士研究生,研究方向为继电保护。

A fault location algorithm on double ends of transmission line considering the overall correction of various errors

LANG Hua-wei, LU Wan-shun, LU Ping, SHAO Yu

(North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: In the research of transmission lines fault location, the varying line parameters, the proposed incorrect parameters or other bad factors will have much influences on the accuracy of fault location. This paper proposes a double ends algorithm based on the distributed parameters model and the equivalent parameter estimation. The algorithm, utilizing the voltages and currents before the fault, can estimate the variation of the line parameters on-line. In addition, it can compensate synthetically for all kinds of errors, in order to improve the accuracy of fault location. The results of EMTP simulation show that the algorithm has improved the location accuracy very much, compared with the algorithm that is not based on the parameter estimation, and the proposed algorithm has strong adaptability of parameter and convergence.

Key words: fault location; equivalent parameter estimation; distributed parameters model

招 聘

《继电器》编辑部因业务发展需要,招聘硕士研究生一名,具体要求如下:

1. 电气工程及其自动化专业;
2. 沟通能力强,有一定文字功底。

详情请致电《继电器》编辑部:0374-3212254;或登陆《继电器》网站:www.powerkingdom.com/rep ress