

# 一种双端测距算法的伪根问题与改进

辛振涛<sup>1</sup>, 尚德基<sup>2</sup>, 尹项根<sup>1</sup>

(1. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074; 2 郑州广播电视大学, 河南 郑州 450052)

摘要: 双端故障测距由于不受过渡电阻和系统阻抗等因素的影响, 得到了广泛的关注。但在利用长线方程沿线推导故障点电压幅值的测距算法中, 原理上存在伪根的可能性, 在某些情况下, 会得到错误的测距结果, 因此需要对该测距算法进行改进。该文首先对产生伪根的原因进行了深入地分析, 并在此基础上, 对原算法进行了改进, 提出了判别伪根的原则, 使其更具通用性, 并利用 EMTP 程序仿真验证了改进后的测距算法。

关键词: 测距; 算法; 伪根; EMTP

中图分类号: TM711 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)06-0036-03

## 0 引言

在众多的故障测距算法中, 由于双端测距算法在原理上不受过渡电阻和双端系统阻抗等因素的影响<sup>[1~4]</sup>, 因此, 双端测距算法的研究得到了蓬勃的发展, 文献 [2] 就提出了一种依据长线方程, 由双端沿线路向对侧推得的电压幅值, 在故障点处相交, 从而得出故障距离, 并且认为不存在伪根。笔者认为: 文献 [2] 的算法在大多数的情况下是成立的, 并且作者在算法的迭代优化处理和算法的使用局限性等方面, 都做了大量的有意义的工作。但笔者在对其算法进行仔细地研究, 并经 EMTP 在个别极端情况下的仿真后发现: 文献 [2] 的算法有存在伪根的可能性。

针对这种可能性, 论文对其测距原理进行了深入地分析, 并在此基础上对文献 [2] 的算法进行了改进, 使其更具通用性, 并经 EMTP 验证了改进后的测距算法。

## 1 基本原理

依据文献 [2], 图 1 为双端电源输电线路的故障示意图。在 M 和 N 端测得的电气量如图中所示。依据长线方程, 线路 MN 上任一点 X 处的电压, 可分别由 M 端和 N 端的电气量推得。如式 (1) 和 (2) 所示:

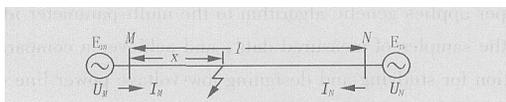


图 1 双端电源故障线路

Fig 1 Two-terminal faulted transmission line

$$U_X = U_M \cosh x - Z_C I_M \sinh x \quad (1)$$

$$U_X = U_N \cosh (l - x) + Z_C I_N \sinh (l - x) \quad (2)$$

当线路 MN 在距 M 的 F 处发生故障后, 故障点 F 处的电压可由下式推得:

$$U_F = U_M \cosh x - Z_C I_M \sinh x \quad (3)$$

$$U_F = U_N \cosh (l - x) + Z_C I_N \sinh (l - x) \quad (4)$$

式中:  $U_M$  和  $U_N$  分别表示由 M 端和 N 端推得故障点 F 处的电压。

为便于分析主要原理, 假设双端采样数据是严格同步的。则:

$$|U_M| = |U_N| \quad (5)$$

由 M 和 N 端沿线路分别向对侧推得沿线的电压如图 2 所示。其中虚线段 1 和 2 表示由 M 端和 N 端沿线路推得对侧电压时, 在越过故障点 F 后, 得出来的并不是线路上的真实电压, 但依据长线方程推得的线路电压的变化趋势依然不变 (实际的电压变化曲线并非直线, 文中只是为了便于说明, 进行了简化)。

从图 2 中可见, 从 M 端和 N 端测得 (感受到) 的沿线电压的幅值曲线是单调的, 它们的交点 (即故障点) 只有 1 个, 测距的关键就是要找出该点。

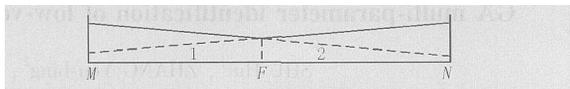


图 2 沿线电压分布

Fig 2 Voltage amplitude along the line

## 2 基本原理的再分析

### 2.1 伪根的理论分析

在文献 [2] 中的测距原理中, 很重要的一点就是认为依据长线方程推得沿线电压幅值是单调的, 从而保证了两个电压曲线的交点只有一个, 也即只有一个故障距离。那么, 推得的沿线电压的幅值趋

势线的变化趋势是否严格单调?电压趋势线 1 和 2 的交点是否唯一?需要依据长线方程(3),再对电压幅值变化曲线做进一步的分析。

由于只对式(3)故障点  $F$  处电压幅值  $|U_F|$  的单调性和变化趋势进行分析,因此,可对长线方程(3)进行如下变化:

$$U_F = U_M \cosh x - Z_C I_M \sinh x = \frac{1}{2} (U_M - I_M Z_C) \cdot e^x + \frac{1}{2} (U_M + I_M Z_C) e^{-x} \quad (6-1)$$

由式(6-1)可得式(6-2),其中由于  $j\sqrt{LC}$ ,两式在变换前后  $|U_F|$  的单调性和变化趋势不会发生改变。

$$2|U_F| = |U_M - I_M Z_C| e^{2x} + |U_M + I_M Z_C| \quad (6-2)$$

为了分析  $|U_F|$  的变化趋势,在图 3 中标示出了各个向量。其中  $\vec{OC} = U_M$ ,  $\vec{OB} = I_M Z_C$ ,  $\vec{BC} = \vec{OA} = U_M - I_M Z_C$ ,  $\vec{OO} = U_M + I_M Z_C$ ,  $\vec{OD} = \vec{OA}$ ,  $E$  为线段  $OO$  与圆  $O$  的交点。由于  $j\sqrt{LC}$ ,所以,矢量  $\vec{OA} = U_M - I_M Z_C$  与  $e^{2x}$  相乘后,只会改变矢量  $OA$  的相位,而不会改变其幅值的大小。从而,向量  $(U_M - I_M Z_C) e^{2x}$  端点的变化轨迹,即  $A$  点,在圆  $O$  上。向量  $(U_M - I_M Z_C) e^{2x} + (U_M + I_M Z_C)$ ,即  $OD$  的端点变化轨迹在圆  $O$  上,即  $|U_F| = |OD|_0$ 。从图中可以看出,随着沿线路  $x$  点的不断前移,  $OD$  的变化轨迹是沿着圆弧  $DEF$  变化。可以看出在圆弧  $DE$  段时  $|U_F| = |OD|$ ,幅值不断减小,在  $E$  点时,取得最小值,过了  $E$  点后,幅值又不断增大。从而可以看出  $|U_F|$  的变化趋势并不是单调的。尽管在分析过程中,做了一些近似,如  $j\sqrt{LC}$ ,而且,沿线推导得到的电压幅值的这种非单调变化情况,随着线路故障类型和故障距离的不同,并不一定都能够出现,但本着存在就有的原则,文献[2]的测距算法仍然存在着伪根的可能性。在后面的依照图 1 所示的仿真系统模型所进行的仿真中,电压幅值  $|U_F|$  的变化趋势线出现了两个交点,就证实了这一论断。

## 2.2 伪根出现的条件

从仿真验证的图 4 可以看出出现伪根的条件是:由故障线路两端推得的电压幅值变化线的交点不唯一时,就出现了伪根。

由于故障后推得的沿线电压幅值变化线既非严格单调,又非确定的已知曲线,而且沿线电压幅值变化曲线受线路参数、短路类型、故障距离、过渡电阻、

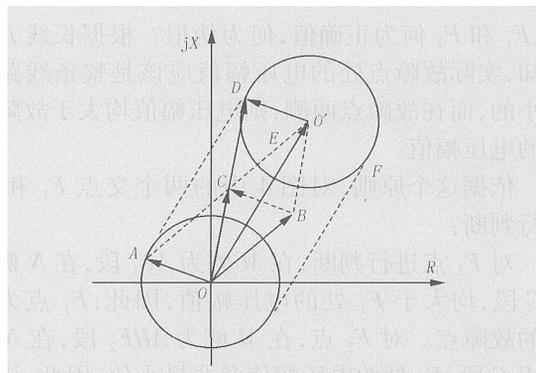


图 3  $|U_F|$  变化向量示意图

Fig 3 Vector diagram of  $|U_F|$

故障时刻等因素的影响,因此,目前难以从理论上严格地定性或定量地给出出现伪根的确切条件。

但可以从推得的电压幅值变化曲线来进行判断。有一点可以明确的是:在线路两个末端带较小过渡电阻故障时,出现伪根的可能性较大。

## 3 改进的测距算法

### 3.1 伪根的仿真验证

图 4 是为了说明出现的伪根情况,利用图 1 所示的系统模型仿真了单相接地,故障距离  $x = 50$  km,  $R_f = 1$  时推得的沿线电压幅值。输电线路长度:  $L = 400$  km; 电源参数:  $E_m = 500 \angle 0^\circ$  kV,  $E_n = 525 \angle 30^\circ$  kV; 线路参数:  $r_l = 0.02083$  /km,  $l_l = 0.8984$  mH/km,  $c_l = 0.0129$   $\mu$ F/km,  $r_0 = 0.1148$  /km,  $l_0 = 2.2886$  mH/km,  $c_0 = 0.00523$   $\mu$ F/km;  $M$  端系统阻抗:  $Z_{m1} = 1.0515 + j43.176$ ,  $Z_{m0} = j29.0925$ ;  $N$  端系统阻抗:  $Z_{n1} = 1.0577 + j44.920$ ,  $Z_{n0} = j37.470$ 。

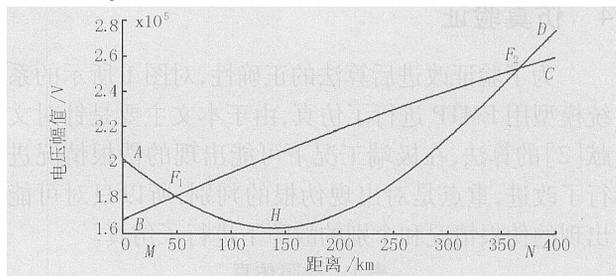


图 4 长线方程推得沿线电压幅值

Fig 4 Deduced voltage amplitude along line through long line equation

在图 4 中,曲线  $AF_1HD$  为由  $M$  端推得沿线电压幅值,曲线  $BF_1F_2C$  为由  $N$  端推得沿线电压幅值,两条曲线有两个交点  $F_1$  和  $F_2$ ,也即得出两个故障距离,  $F_1$  和  $F_2$  何为正确值,何为伪根?根据长线方程

可知,实际故障点处的电压幅值应该是整条线路上最小的,而在故障点两侧,则电压幅值均大于故障点处的电压幅值。

依据这个原则,对图 4 中的两个交点  $F_1$  和  $F_2$  进行判断:

对  $F_1$  点进行判断,在  $M$  侧为  $AF_1$  段,在  $N$  侧为  $F_1C$  段,均大于  $F_1$  处的电压幅值,因此,  $F_1$  点为实际的故障点。对  $F_2$  点,在  $M$  侧为  $AHF_2$  段,在  $N$  侧为  $F_2C$  段,  $F_2$  处的电压幅值并非最小值,因此,该点不是真正的故障点,为伪根。

图 5 为 A 相接地,故障距离  $x = 100 \text{ km}$ ,  $R_f = 1$  时推得的沿线电压幅值图。由图中可以看出,尽管由  $M$  端推得的电压幅值曲线在整个线路 400 km 内并不单调,但与  $N$  端推得的曲线只有一个交点,因此,该交点便是正确的故障点。

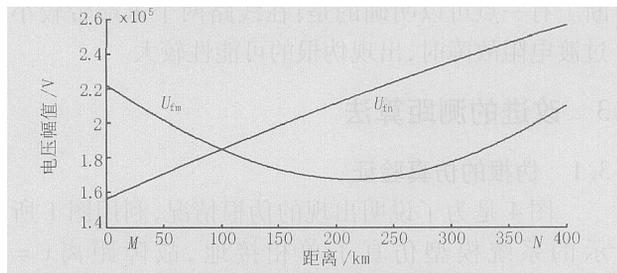


图 5 单个交点的电压幅值图

Fig 5 Single cross dot diagram of deduced voltage amplitude along line

### 3.2 改进的测距算法

依据以上的理论分析和仿真验证,对文献 [2] 中的测距算法进行改进,改进后的测距算法流程图如图 6 所示。

### 4 仿真验证

为了验证改进后算法的正确性,对图 1 所示的系统模型用 EMTP 进行了仿真,由于本文主要是针对文献 [2] 的算法,在极端工况下可能出现的伪根情况进行了改进,重点是对出现伪根的判别,所以只对可能出现的伪根情况和个别的故障下进行了仿真。

表 1 故障仿真

Tab 1 Fault simulation

故障类型	过渡电阻 /	实际故障距离 / km	计算故障距离 / km	伪根
A0	1	50	49.63	375
AB	100	150	151.22	无
ABC	50	200	198.39	无

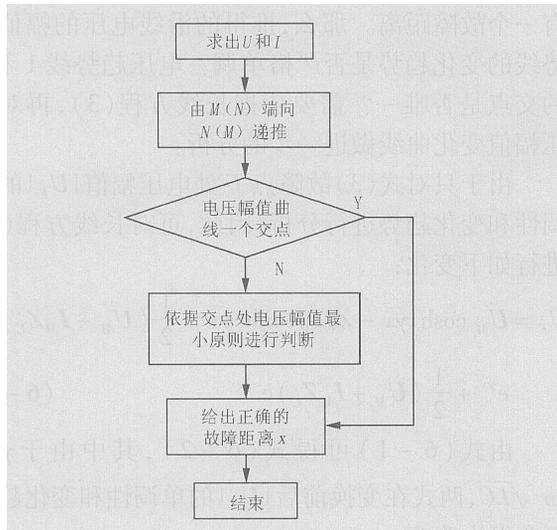


图 6 改进的算法流程图

Fig 6 Flow chart of improved fault location algorithm

其中,在第一种故障类型 (A0) 下,故障曲线如图 4 所示,在两个交点的情况下正确地确定了故障点  $F_1$ 。

### 5 结论

本文针对文献 [2] 中提出的测距算法在极端情况下可能出现伪根的情况进行了分析,利用向量图分析了出现伪根的原因。在此基础上,对文献 [2] 的测距算法进行了改进,使得改进后的算法更具通用性。最后用 EMTP 对改进后的测距算法进行了仿真验证,证实了改进后的算法是有效可行的。

### 参考文献:

[1] 全玉生,王晓蓉,杨敏中,等.工频双端故障测距算法的鲁棒性问题和算法研究[J].电力系统自动化,2000,24(10):28-32  
 QUAN Yu-sheng, WANG Xiao-rong, YANG Min-zhong, 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

[2] 滕林,刘万顺,李莹,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(18):24-27.  
 TENG Lin, LU 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 (18): 24-27.

(下转第 45 页 continued on page 45)

1999.

- [7] 刘志超,陈宏钟,张伟,等.基于专家系统的变电站电压无功控制装置[J].电力系统自动化,2003,27(2): 74-77
- LIU Zhi-chao, CHEN Hong-zhong, ZHANG Wei, et al Substation Voltage and Reactive Power Control Device Based on Expert System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(2): 74-77.

作者简介:

袁佳歆(1981-),男,博士研究生,研究方向为电能质量与控制,柔性交流输电系统、电力电子在电力系统中的应用;E-mail: 98571yjx@sohu.com

陈柏超(1960-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为电力系统过电压及抑制、电能质量与控制、电力电子技术应用;

翁蔚(1980-),男,本科,助理工程师,研究方向为电能质量与控制、电网调度。

收稿日期: 2004-07-05; 修回日期: 2004-12-09

### A new power quality compensator based on intelligent control

YUAN Jia-xin<sup>1</sup>, CHEN Bai-chao<sup>1</sup>, WENG Wei<sup>2</sup>, WANG Jun<sup>1</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Fujian Electric Power Dispatch & Telecommunication Center, Fuzhou 350003, China)

**Abstract:** A new power quality compensator of thyristor switched filters (TSF) based on intelligent control is an effective measure to improve power quality of distribution network system. First, its principle to control voltage fluctuation is analysed theoretically, and the minimum angle of its switching in transition process is deduced in mathematics. Then, the application of intelligent control in controller is introduced. Finally, through simulation and experiments, the effectiveness and feasibility of restraining voltage sag and voltage fluctuation, improving power quality and reducing harmonic by TSF are proved.

**Key words:** distribution network; TSF; power quality; voltage fluctuation; harmonics

(上接第 38 页 continued from page 38)

- [3] CHEN Zheng, LUO Cheng-mu, SU Jin-xi, et al A Fault Location algorithm for Transmission Line Based on Distributed Parameter[A]. Seventh International Conference on Developments in Power System Protection (IEE). 2001. 411-413
- [4] Novosel D, Hart D G, Udren I E et al Unsynchronized Two-terminal Fault Location Estimation[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1996, 11(1): 130-138

收稿日期: 2004-06-25; 修回日期: 2004-09-10

作者简介:

辛振涛(1976-),男,博士研究生,研究方向为电力系统继电保护与安全控制;E-mail: ghost\_xzt@sina.com

尚德基(1977-),男,助教,从事计算机教学和仿真等方面的研究;

尹项根(1954-),男,教授,博导,主要从事电力系统继电保护和综合自动化等方面的研究。

### False root and its improvement of a two-terminal fault location algorithm on transmission line

XN Zhen-tao<sup>1</sup>, SHANG De-ji<sup>2</sup>, YN Xiang-gen<sup>1</sup>

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;  
2. Zhengzhou Broadcast and Television University, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** Recently, much attention is attached to two-terminal fault location algorithm, for this algorithm is not affected by fault resistance and system impedance. However, the two-terminal fault location algorithm, which deduces the voltage amplitude on line according to long-line equation, has the possibility of false root in theory. It will get wrong fault location results under some extreme conditions. Firstly, the paper deeply analyzes the reasons of false root of the two-terminal fault location algorithm. Secondly, based on the above detailed discussion, an improved fault location algorithm with false-root detection criterion is presented, which can be widely used. At last, it is also validated by EMTP program with a simulation model.

**Key words:** fault location; algorithm; false root; EMTP