

# 故障测距中的参数误差归算修正算法

陈明军<sup>1</sup>, 尤中璞<sup>2</sup>, 黄飞腾<sup>1</sup>

(1. 浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310014; 2. 象山县供电局, 浙江 象山 315700)

**摘要:** 在输电线路故障测距中, 线路参数变化或其他参数误差都会对测距精度有较大的影响。针对基于分布参数模型的双端不同步数据故障测距问题, 提出了一种参数误差归算修正算法。该算法将各类参数误差归算为单位长度线路参数的变化, 利用故障前电压/电流数据, 计算出归算系数, 反馈修正系统模型。Matlab 仿真表明, 该算法能有效地减少各类参数误差的影响, 提高了故障测距的抗干扰能力和故障测距精度。

**关键词:** 故障测距; 参数误差; 归算系数; 抗干扰能力

中图分类号: TM711

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)04-0104-04

## Parameter errors converting and correcting algorithm for fault location

CHEN Ming-jun<sup>1</sup>, YOU Zhong-pu<sup>1</sup>, HUANG Fei-teng<sup>1</sup>

(1. College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;  
2. Xiangshan County Supply Power Company, Xiangshan 315700, China)

**Abstract:** In the transmission line fault location, transmission line parameters changes or other parameter errors impact greatly on the accuracy of fault location. For fault location of the two-terminal non-synchronous data based on distribution parameters model, a parameter errors converting and correcting algorithm was presented. The different parameter errors were converted to unit length parameter changes of the transmission line. Using the two-terminal data of voltage and current before fault time, the convert coefficient was calculated. Then system model was feedback amended. Matlab simulation result shows that this algorithm can effectively reduce the various parameter errors impact, improve anti-jamming capability and accuracy of fault location.

**Key words:** fault location; parameter errors; convert coefficient; anti-jamming capability

## 0 引 言

高压输电线路故障的准确测距可加快故障线路检修和恢复供电, 减少停电造成的经济损失和社会影响<sup>[1]</sup>。双端不同步数据故障测距是根据线路两端不同步采样的电压和电流数据以及必要的系统参数, 经过化简得到测距方程, 解出故障距离<sup>[2]</sup>。现今, 双端故障测距是国内外电力领域的研究热点。

输电线路参数一般是在一定的环境条件下通过实测获得, 但在运行过程中会随气候、大地电阻率等因素变化而变化<sup>[3]</sup>。此外, 互感器的测量也存在误差。线路参数变化和其他参数误差, 包括线路阻抗的误差、线路长度的误差、测量误差、气候地形和弧垂造成的影响, 都会对故障测距的精度有较大影响。

文献[4]提出的算法中利用故障前后电压电流信息对线路参数和故障距离分别迭代求解, 测距精度较高但迭代法存在伪根、不收敛等复杂情况。文献[5]利用故障前的电压、电流在线估计出线路的等效参数, 对各种误差起到综合补偿效果, 但采用了迭代法来求解等效参数, 需要考虑故障点临近母线等情况引起的收敛性问题。

本研究鉴于电力系统中常用的归算思想, 针对基于分布参数模型的双端不同步数据故障测距问题, 提出一种参数误差归算修正算法。

## 1 归算修正算法原理

参数误差归算修正算法的原理, 首先考虑到各类参数误差对测距精度的影响反映在结果上为距离  $x$  的

收稿日期: 2009-10-15

作者简介: 陈明军(1962-), 男, 浙江嵊州人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事电力系统保护及控制, 智能电气及自动控制系统等方面的研究。E-mail: hfhhftp@163.com

数值变化,那么可以把这些误差归算、分摊到单位长度线路上的参数变化。为了简化计算,设单位线路阻抗和导纳的变化率相等。

根据分析和设定,将各类误差包括线路阻抗误差、线路长度误差、测量误差、环境和弧垂造成的误差等对测距的影响归算到单位线路参数的变化,并设所有变化总和的变化系数为实数  $\alpha$ ,命名为误差归算系数(简称归算系数)。

单位长度的电阻  $r_1$ 、电抗  $x_1$ 、电纳  $g_1$  和电导  $b_1$  都变为原来的  $1 + \alpha$  倍,如图1所示。

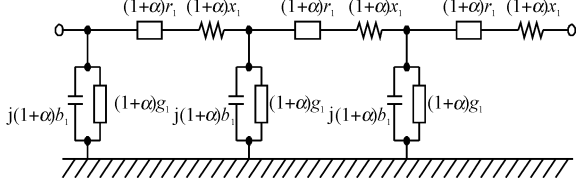


图1 误差归算后的单相线路模型

传播系数  $\gamma = \sqrt{z_1 y_1}$ ; 特新阻抗  $Z_c = \sqrt{z_1 / y_1}$ 。

其中  $z_1 = r_1 + jx_1$ ,  $y_1 = g_1 + jb_1$ , 那么特性阻抗  $Z_c$  不变、传播系数  $\gamma$  变为原来的  $1 + \alpha$  倍。

双电源供电系统单相接地故障如图2所示,反馈修正模型参数,需要先求解归算系数  $\alpha$ ,可以利用故障前数据进行推算。

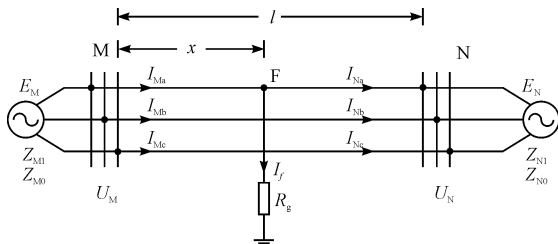


图2 单相接地故障时的两端供电系统

M、N—两端母线;F—故障点;l—线路总长;x—故障点距离 MF,  $R_g$ —过渡电阻

已知输电线路1、2点的均匀长线方程为:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma x & -Z_c \sinh \gamma x \\ -\sinh(\gamma x) / Z_c & \cosh \gamma x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

由式(1),可根据任一端电压和电流数据计算出沿线路任意点的电压和电流。若考虑不同步角度  $\delta$ ,则须在公式的左侧乘上  $e^{j\delta}$ 。

由于只有正序分量适用于所有故障类型的测距,以下各式中省略正序下标号  $s = 1$ 。先令计算距离  $x = l$ ,列出由 M 求 N 两端之间的电压电流方程,并代入误差归算后的传播系数  $(1 + \alpha)\gamma_s$ ,得到:

$$\dot{U}_{Np} e^{j\delta} = \dot{U}_{Mp} \cosh (l\gamma + \gamma\alpha l) - \dot{I}_{Mp} Z_c \sinh (l\gamma + \gamma\alpha l) \quad (2)$$

$$-\dot{I}_{Np} e^{j\delta} = \frac{\dot{U}_{Mp}}{Z_c} \sinh (l\gamma + \gamma\alpha l) - \dot{I}_{Mp} \cosh (l\gamma + \gamma\alpha l) \quad (3)$$

式中  $\delta$ —不同步角度; $p$ —故障前数据。

假设点  $N_0$  是利用误差归算前的线路模型参数  $Z_c$ 、 $\gamma$  和故障前 M 端的数据来推导,则令该点  $N_0$  使下式成立:

$$\dot{U}_{N0p} e^{j\delta} = \dot{U}_{Mp} \cosh \gamma l - \dot{I}_{Mp} Z_c \sinh \gamma l \quad (4)$$

$$-\dot{I}_{N0p} e^{j\delta} = \frac{\dot{U}_{Mp}}{Z_c} \sinh \gamma l - \dot{I}_{Mp} \cosh \gamma l \quad (5)$$

由式(2)~式(5),按已知给定一个端点  $N_0$  的数据来求离它  $\alpha l$  远处的另一个点的数据这一思想,即可以理解为  $N_0$  点等价于距离 N 端点为  $\alpha l$  远处的点。由于式(4)、式(5)中设定了  $N_0$  点与 M 点的不同步角度也为  $\delta$ ,因此  $N_0$  与 N 点数据同步。推导后可以得到:

$$\dot{U}_{Np} = \dot{U}_{N0p} \cosh \gamma\alpha l - \dot{I}_{N0p} Z_c \sinh \gamma\alpha l \quad (6)$$

$$-\dot{I}_{Np} = \dot{U}_{N0p} / Z_c \times \sinh \gamma\alpha l + \dot{I}_{N0p} \cosh \gamma\alpha l \quad (7)$$

由式(2)~式(7), $\gamma$  和  $Z_c$  可由归算前的已知参数求得,而 M、N 端的电压电流可以通过双端采样数据滤波后相模变化求得,消去不同步角度,并求解出归算系数。

## 2 算法流程和步骤

误差归算修正算法流程如图3所示。

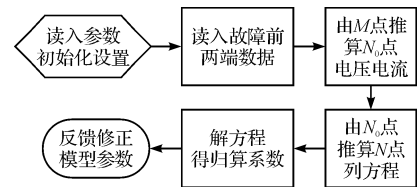


图3 误差归算修正算法流程

误差归算修正算法步骤为:

(1) 取得数据包括归算前的线路参数已知量,求出传播系数  $\gamma$ 、特性阻抗  $Z_c$ ;故障前 M、N 端的电压电流(经过滤波和相模变化后)的正序分量。

(2) 利用式(4)、式(5)算出  $N_0$  点的电压、电流,此时的电压和电流值含有  $e^{j\delta}$ 。

(3) 按由  $N_0$  推算 N 点的思路列出式(6)、式(7)。

(4) 对式(6)、式(7)两端都乘上不同步相角  $e^{j\delta}$ ,那么由于  $N_0$  点、N 端点的数据都含有  $e^{j\delta}$ ,可消去(即不受其是否已知制约)。分别代入它们的电压、电流数据,得到仅含一个未知数  $\alpha$  的双曲函数方程组,  $C = \gamma l$  为常量,化简可得:

$$\sinh C\alpha = A_1 = \frac{(I_{Np} U_{N0p})/I_{N0p} - U_{Np}}{(-U_{N0p}^2/Z_c)/I_{N0p} + I_{N0p} Z_c} \quad (8)$$

$$\cosh C\alpha = A_2 = \frac{I_{Np} + (U_{Np} U_{N0p})/(I_{N0p} Z_c^2)}{U_{N0p}^2/(I_{N0p} Z_c^2) - I_{N0p}} \quad (9)$$

式(8)、式(9)中  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $C$  是常量,可由化简过程得到。由式(8)或式(9)求反函数,可求得误差归算系数  $\alpha$ 。

(5)用归算系数  $\alpha$  反馈对系统模型进行修正,令传播系数  $\gamma_1 = (1 + \alpha)\gamma$ ,进而通过故障测距算法达到提高测距精度的效果。

### 3 算法仿真

为验证提出的参数误差归算修正算法能够减少各类误差的影响,提高故障测距的抗干扰能力和测距精度,通过仿真对带归算修正算法的故障测距和不带该算法的测距进行比较。

本研究建立了 Matlab 仿真系统模型,且为双电源供电均匀分布参数输电线路模型系统<sup>[6]</sup>。

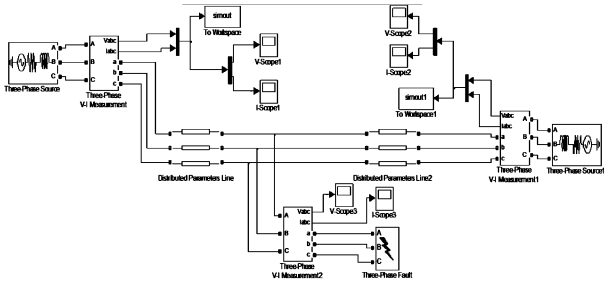


图4 Matlab 仿真系统模型图

仿真系统图中两侧为三相电源,然后在母线位置设置了电压、电流测量单元作为故障滤波器。输电线路为均匀换位三相线路,采用分布参数建模。故障点设置三相故障单元,可以设置故障类型,通过调节两个三相输电线路单元的长度参数来决定故障位置。故障点设置了测量单元,作为理论上检验故障电流使用。该模型可仿真电力系统实际运行中输电线路常见的单相接地短路、两相接地短路、三相接地短路、两相相间短路等故障类型。

设置仿真系统参数:电压等级为 220 kV,50 Hz 工频,N 端 A 初始相角超前 M 端  $10^\circ$ ,线路长度为 300 km;系统阻抗为:

$$Z_{m1} = 0.95 + j36.50 \Omega, Z_{n1} = 1.15 + j42.20 \Omega, Z_{m0} = j24.25 \Omega, Z_{n0} = j34.27 \Omega.$$

输电线路分布参数为:

$$r_1 = 0.022 \Omega/\text{km}, r_0 = 0.115 \Omega/\text{km}, l_1 = 0.95 \text{ mH}/\text{km}, l_0 = 2.35 \text{ mH}/\text{km}, c_1 = 0.014 \text{ } \mu\text{F}/\text{km}, c_0 = 0.006 \text{ } \mu\text{F}/\text{km}.$$

比较带有和不带有误差归算修正环节两种情况下的测距结果。选用单相接地故障类型,  $MF = 100 \text{ km}$ ,  $R_g = 100 \Omega$ ,  $\delta = 100^\circ$ ,设线路分布参数误差  $A_w = 3\%$ ,线路长度误差  $B_w = 5\%$ ,环境和弧垂对线路参数误差  $C_w = 2\%$ ,测量误差  $D_w = 1\%$ 。

用各误差归算后得到的线路分布参数来修改模型,但算法中的初始化参数仍然按原先设定读入,这样就表现出实际输电线路和仿真模型参数之间存在误差。用归算修正算法求解出归算系数,然后修正模型参数,再代入已有的双端数据故障测距算法<sup>[7]</sup>计算故障距离。

各项误差分别作用时、最大叠加作用时及有无归算修正环节的测距结果如表 1 所示。参数误差的影响取决于其绝对值的大小,忽略正负;而实际线路总长度为 300 km,测距结果的相对误差有正负方向,正号省略。

表 1 有无修正环节的测距结果

测距	结果	误差/%	结果	误差/%
参数误差	$A_w = 5\%$		$B_w = 3\%$	
有修正	101.477 8	0.492 6	101.505 3	0.501 8
无修正	93.194 5	-2.268 5	96.996 9	-1.001 0
参数误差	$C_w = 2\%$		$D_w = 1\%$	
有修正	100.318 1	0.106 0	99.620 8	-0.126 4
无修正	97.244 2	-0.918 6	98.058 0	-0.647 3
参数误差	正向最大叠加误差 11%		无误差 0%	
有修正	98.159 0	-0.613 7	99.718 5	-0.093 8
无修正	90.966 0	-3.011 3	99.631 5	-0.122 8

其中两项或多项相互叠加或抵消时,对测距的影响效果在无误差与最大叠加误差的范围之间,由于分别叠加情况过多,可以用该最大影响范围做为参照,并根据单项误差影响进行叠加估算,此处不再展开。因此假设所有误差都正向叠加,此时达到的最大误差绝对值,存在参数总误差 11%,理想状态为 0%。

从表 1 中可以看出有修正环节的测距基本不受各类误差影响,测距误差在 0.5% 左右,具有很高的精度;而无修正环节的测距受到各类误差影响,测距精度随归算误差的增大而下降。

有无修正环节算法的测距误差比较如图 5 所示。由图 5 可以看出有修正环节的测距,随着归算误差的变化都保持很高的测距精度,无修正环节的测距测距误差随归算误差的增大也增大了。所以,仿真结果表明参数误差归算修正算法能够减少各类误差的影响,提高故障测距的抗干扰能力,进而提高存在干扰时的测距精度。

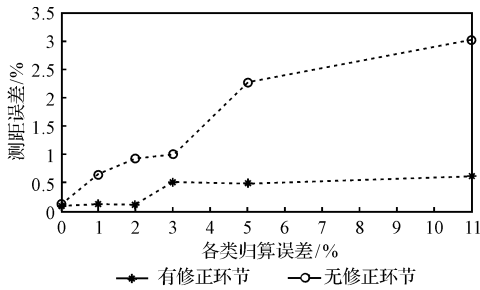


图5 有无修正环节算法的测距误差比较

## 4 结束语

在高压输电线路双端不同步数据故障测距研究中,线路参数变化或其他参数误差都会对测距精度有较大的影响。本研究提出的这种参数误差归算修正算法,将各类参数误差归算为单位长度线路参数的变化,利用故障前故障滤波器记录的工频量电压电流数据,计算出归算系数,反馈修正系统模型。计算量相对较少,归算系数的求解不受数据不同步角度制约。Matlab 仿真表明,该算法能有效地减少各类参数误差单独

作用和共同作用时的影响,提高了故障测距的抗干扰能力,以及存在干扰和误差时的故障测距精度。

### 参考文献 (References):

- [1] JOHNS A T, JAMALI S. Accurate fault location technique for power transmission lines [J]. **IEE Proc-Gener. Transm. Distrib.**, 1990, 137(6): 395-402.
- [2] GIRGIS A A, HART D G, PETERSON W L. A new fault location technique for two and three terminal lines [J]. **Transactions on Power Delivery**, 1992, 7(1): 98-107.
- [3] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理与技术[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2007: 256-260.
- [4] 全玉生, 邱庆春. 基于双端不同步数据故障定位的中位修正法[J]. 高压技术, 2005, 31(9): 1-4.
- [5] 梁华为, 刘万顺. 一种考虑对各种误差综合修正的线路双端测距算法[J]. 继电器, 2005, 33(17): 7-10.
- [6] 黄飞腾, 陈明军, 郑慧. 故障测距中的差分傅氏滤波改进算法[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(11): 62-65.
- [7] 安艳秋. 基于分布参数线路模型的精确故障测距算法[J]. 继电器, 2003, 31(6): 42-45.

[编辑:张翔]

(上接第99页)

幅值,  $\Delta B_{ac} = 0.21B_{max}$ , 磁损大大减小; ②由于增加了变压器原边绕组与B路输出绕组的匝比, 在开关管关断时, B路输出稳压器件 LM2940-9 上的压降减小, 从而降低了损耗。

## 3 实验结果及分析

采用上述方法设计电路, 选用变压器 2, 最低输入电压 40 VAC, 两路输出均满载时的开关管 DS 之间的电压波形及原边电流检测电阻上的电压波形如图 4 所示, 从图中可以看出此时电路工作于 DCM 模式, 且占空比接近 80%。最高输入电压有效值 450 VAC 两路输出均满载时, 开关管漏源极之间的电压波形如图 5 所示, 此时电路以“间歇工作”模式工作, 跳过一些周期从而使得电路的平均频率降低, 损耗减小。

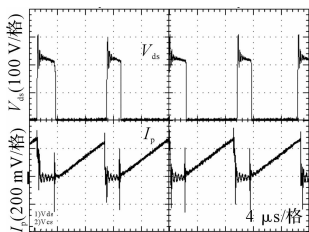


图4 输入 40 VAC 满载时开关管上 DS 间和原边电流检测电阻上的电压波形

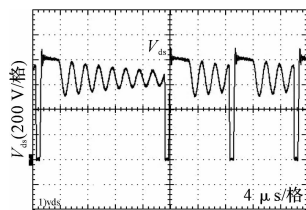


图5 输入 450 VAC 满载时开关管 DS 间电压波形

## 4 结束语

本研究介绍了利用美国半导体的电流模式控制芯片 LM5021-1, 实现了超宽输入电压范围 1:11 即线电压有效值 40VAC ~ 450VAC 三相开关电源的设计和优化, 实验结果表明该电源输入电压范围比较宽, 效率较高, 具有较好的应用前景。

### 参考文献 (References):

- [1] MARTY B. 开关电源设计指南[M]. 徐德鸿, 沈旭, 杨成林, 等, 译. 北京:机械工业出版社, 2004.
- [2] JOSHI R. Designing wide-range power supplies for three-phase industrial applications [J]. **Electronics Products China**, 2006(10): 50-52.
- [3] 于庆广, 张宁. 三相四线制数字电表专用电源的设计和实现[J]. 电子技术应用, 2006, 32(12): 111-114.
- [4] National Semiconductor. LM5021: AC-DC Current Mode PWM Controller[EB/OL]. [2005-06-01]. <http://www.national.com>.
- [5] JI Chuan-wen, SMITH K M, SMEDLEY K M. Cross Regulation in Flyback Converters: Analytic Model and Solution [C]//The 25th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 1999, USA, 1999: 174-179.
- [6] 张晓峰, 吕征宇. 多路输出反激变换器的假断续行为分析[J]. 电力电子技术, 2006, 40(4): 48-49.

[编辑:张翔]