基于改进参数检测法的双端非同步数据故障测距算法

高厚磊1.陈学伟2.刘洪正3.李 超3.冯迎春3

(1.山东大学 电网智能化调度与控制教育部重点实验室,山东 济南 250061;2.国网冀北电力有限公司唐山供电公司, 河北 唐山 063000;3.国网山东省电力公司检修公司,山东 济南 250021)

摘要:基于输电线路分布参数模型,提出一种基于改进参数检测法的双端非同步数据故障测距算法。该算法 利用故障前两端电压、电流数据实时修正非同步角度和线路参数,再利用故障后数据进行故障测距。与拟牛 顿法相比,所提算法无需迭代,计算量小;与电压趋势法相比,所提算法不存在伪根判别的问题;与传统参数 检测法相比,所提算法能够实时修正非同步角度。基于 PSCAD/EMTDC 的仿真结果表明,该算法测距精度高, 受故障条件和线路换位的影响较小。

关键词:双端故障测距;故障定位;线路;参数检测;非同步数据;线路换位;模型 中图分类号:TM 773 文献标识码:A DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.09.005

0 引言

高压输电线路的准确故障测距是从技术上保证 电网安全经济运行的重要措施之一。输电线路的测 距方法按所采用的信息量可分为单端法、双端法和 多端法等。单端测距法原理简单、投资少、不受通信 条件的限制,但难以克服对端系统阻抗变化和过渡 电阻的影响。双端测距方法不存在原理误差,能有 效克服过渡电阻和对端系统阻抗变化对定位精度的 影响。在双端算法中,基于两端同步数据的测距算法 较为简单,但实现时需要 GPS 同步时钟的安装并获 取可靠的同步效果,目前除 PMU 装置外还很难有其 他设备满足要求。超高压输电系统的故障录波装置 已经联网,但数据不具备测距所要求的同步条件。因 此,不需要两端数据同步的双端测距算法更具必要 性,具有更大的工程实用价值^[13]。

基于线路双端非同步数据的故障测距算法主要 有参数检测法、电压趋势法、拟牛顿迭代法等。文献 [4]提出的参数检测法虽然能修正线路参数,但其对 双端非同步角度的修正是基于线路投运初期的数 据,对于长期运行的输电线路误差不可避免。文献 [5-6]提出的电压趋势法是基于线路两端的电压和 电流所计算出的故障点的电压幅值相等的假设建立 方程求解,即使不考虑求解超越方程所用算法(遗传 算法、迭代搜索法等)的复杂性,此类方法还需要证 明在全线路上有且仅有一个点满足电压幅值相等的 条件。文献[7-10]提出的拟牛顿法、参数估计法等都 是基于求解非线性方程组的迭代方法,算法实现相 对复杂,计算量大。此外,以上文献中都没有对输电 线路不完全换位对测距的影响作出分析。

收稿日期:2013-11-05;修回日期:2014-07-16

基金项目:山东省电力公司科技项目(2012A-82)

Project supported by the Science & Technology Program of Shandong Company(2012A-82) 本文在以上工作的基础上,基于输电线路分布 参数模型,提出了基于改进参数检测法的双端非同 步数据故障测距算法。该算法利用故障前两端电压 电流数据实时修正不同步角度,同时修正线路参数, 再利用故障后数据进行故障测距,在线路不完全换 位的情况下也能得到较为准确的测距结果。与拟牛 顿法、参数估计法等相比,本文算法无需迭代、计算 量小;与电压趋势法相比,本文算法不存在伪根判别 的问题;与传统参数检测法相比,本文算法能实时修 正非同步角度。

1 输电线路分布参数模型及误差归算

1.1 分布参数模型

图 1 所示为均匀输电线路的分布参数模型,z₁、 y₁分别为单位长度线路的阻抗和导纳。



图 1 输电线路分布参数模型

Fig.1 Distributed parameter model of power transmission line

由图 1 所示的电压、电流相量和线路分布参数, 可以得到均匀长线传输方程^[11-15]:

$$\boldsymbol{U}_{M1} = \boldsymbol{U}_{N1} \cosh \gamma l - \boldsymbol{I}_{N1} \boldsymbol{Z}_{c} \sinh \gamma l \tag{1}$$

$$I_{M1} = \frac{U_{N1}}{Z} \sinh \gamma l - I_{N1} \cosh \gamma l$$
 (2)

其中, U_{M} 、 I_{M} 分别为稳态运行时M端电压、电流的 正序分量; U_{N} 、 I_{M} 分别为稳态运行时N端电压、电 流的正序分量; γ 为线路传播系数; Z_{e} 为线路特性阻 抗;l为线路全长。

1.2 参数误差归算

即使采用分布参数输电线路模型、与实际线路当

前参数相比也会存在一定的误差。为提高测距精度, 需要修正各类误差,这些误差包括线路阻抗的误差、 线路长度的误差、线路不完全换位造成的误差以及 测量误差等。

首先以线路长度的变化与线路参数之间的关系 为例进行分析。若已知线路的给定长度为l,线路的 实际长度为 $l+\Delta x$,线路单位长度的正序阻抗和导纳 分别为 Z_1 和 Y_{10} 在此,不妨假设线路阻抗和导纳与 线路长度近似呈线性关系,在进行故障测距时,如果 仍然按照线路长度为l来计算,则相当于线路单位长 度的正序阻抗和导纳分别增加了 $\Delta x/l \times 100\%$,变为 $Z'_{1=}(1+\Delta x/l)Z_1$ 和 $Y'_{1=}(1+\Delta x/l)Y_{10}$ 因此,线路的等 效传播系数和等效特性阻抗变为:

$$\gamma' = \sqrt{(1 + \Delta x/l)Z_1(1 + \Delta x/l)Y_1} = (1 + \Delta x/l)\sqrt{Z_1Y_1} = (1 + \Delta x/l)\gamma$$

$$Z'_c = \sqrt{[(1 + \Delta x/l)Z_1]/[(1 + \Delta x/l)Y_1]} = \sqrt{Z_1/Y_1} = Z_c$$
(3)

其中, γ 、 Z_c 分别为由线路给定参数计算而得的传播 系数和特性阻抗。由式(3)可知,线路的等效传播系 数 γ' 变为 γ 的(1+ $\Delta x/l$)×100%,而等效特性阻抗 Z'_c 和 Z_c 相同。

由以上分析可知,线路的长度误差能够分摊到 单位长度线路上,归化为单位长度阻抗和导纳的误 差。此外,线路不完全换位造成的误差及测量误差等 因素也是通过对线路参数的影响而反映在测距结果 上的。因此可作假设,认为它们对测距的影响也可以 归化到单位长度线路参数的变化上,并且对单位长度 阻抗与导纳值的影响反映在数值上是近似同比例的。

不妨定义以上所有对测距结果产生影响的误差 总和为误差归算系数 α,则有:

$$Z'_{1} = (1+\alpha)Z_{1} Y'_{1} = (1+\alpha)Y_{1}$$
(4)

其中,Z'₁、Y'₁分别为误差归算后线路单位长度的等效正序阻抗和导纳。

由式(4)可以得:

$$\gamma' = \sqrt{Z_1'Y_1'} = \sqrt{(1+\alpha)Z_1(1+\alpha)Y_1} =$$

$$(1+\alpha)\sqrt{Z_1Y_1} = (1+\alpha)\gamma$$

$$Z_c' = \sqrt{Z_1'/Y_1'} = \sqrt{[(1+\alpha)Z_1]/[(1+\alpha)Y_1]} =$$

$$\sqrt{Z_1/Y_1} = Z_c$$
(5)

由式(5)可知,线路的等效传播系数 γ' 变为原 来的 1+α 倍,而等效特性阻抗 Z'。保持不变。

2 双端非同步数据故障测距原理

双端供电系统如图 2 所示。在线路正常运行时, 可由 N 端的电压、电流相量来表示 M 端的电压、电 流相量,即式(1)、(2)所示的基于输电线路分布参数 的传输线方程。



图 2 双端供电系统示意图 Fig.2 Schematic diagram of two-terminal power supply system

当两端电压、电流数据不同步时,设不同步角度 为 δ ,并且计及线路参数误差的影响,则有: $U_{M1}e^{i\delta}=U_{N1}\cosh[(1+\alpha)\gamma l]-I_{N1}Z_{c}\sinh[(1+\alpha)\gamma l]$ (6) $I_{M1}e^{i\delta}=\frac{U_{N1}}{Z_{c}}\sinh[(1+\alpha)\gamma l]-I_{M1}\cosh[(1+\alpha)\gamma l]$ (7)

其中,未知量为误差归算系数 α 和非同步角度 δ_{\circ}

联立式(6)、(7)可得误差归算系数的解析解为:

$$\alpha = \frac{1}{\gamma l} \operatorname{arctanh} \left(\frac{I_N U_M + I_M U_N}{U_N U_M / Z_c + I_N I_M Z_c} \right) - 1$$
(8)

将由式(8)求得的 α 代入式(6)中,可以求得两端非同步角度为:

$$\delta = \arg \frac{U_{NI} \cosh[(1+\alpha)\gamma l] - I_{NI} Z_{c} \sinh[(1+\alpha)\gamma l]}{U_{MI}}$$
(9)

输电线路故障示意图如图 3 所示。故障点 F 与 M 端母线距离为 x, 与 N 端母线距离为 l-x。



图 3 输电线路故障示意图

Fig.3 Schematic diagram of transmission line fault

F点发生故障后,若以线路 M、N 端的电压、电流 作为已知条件,可以分别推出以两端电压、电流数据 表示的线路故障点 F 处的电压方程:

 $U_{MF} = U_{MI} e^{j\delta} \cosh[(1+\alpha)\gamma x] - I_{MI} e^{j\delta} Z_{e} \sinh[(1+\alpha)\gamma x] (10)$ $U_{NF} = U_{NI} \cosh[(1+\alpha)\gamma(l-x)] - I_{NI} Z_{e} \sinh[(1+\alpha)\gamma(l-x)]$ (11)

其中, U_{MF} 、 U_{NF} 分别为由M、N端电压、电流正序分量 算得的故障点电压正序分量,故有 $U_{MF}=U_{NF}$ 。 因此可得:

 $\{\boldsymbol{U}_{M} \cosh[(1+\alpha)\gamma x] - \boldsymbol{I}_{M} \boldsymbol{Z}_{c} \sinh[(1+\alpha)\gamma x]\} e^{j\delta} = \boldsymbol{U}_{N} \cosh[(1+\alpha)\gamma(l-x)] - \boldsymbol{I}_{N} \boldsymbol{Z}_{c} \sinh[(1+\alpha)\gamma(l-x)]$ (12)

将 cosh $x = (e^{\gamma x} + e^{-\gamma x})/2$ 和 sinh $x = (e^{\gamma x} - e^{-\gamma x})/2$ 代 人上式,计算可得:

$$e^{2(1+\alpha)\gamma x} = \frac{(U_{N1} - I_{N1}Z_{c})e^{(1+\alpha)\gamma l} - (U_{M1} + I_{M1}Z_{c})e^{j\delta}}{(U_{M1} - I_{M1}Z_{c})e^{j\delta} - (U_{N1} + I_{N1}Z_{c})e^{-(1+\alpha)\gamma l}} = A + jB$$
(13)

令 $(1+\alpha)\gamma=m+jn$,由于等式两端均为复数,为简化计算,可由式(13)两端复数的相角相等列式为 $2nx=\arctan(B/A)$,进而可得故障距离:

$$x = \frac{1}{2n} \arctan(B/A) \tag{14}$$

由上述推导过程可知,所谓改进的参数检测法, 即先根据式(8)、(9)由故障前数据求出当前误差归 算系数 α 和两端非同步角度 δ ,再将其代入式(13)、 (14)中,由故障后数据求出故障距离 x_{\circ} 该方法是在 同时考虑了输电线路当前两端非同步角度和线路参 数误差的前提下进行故障测距,在理论上保证测距 的准确性。

3 仿真验证及分析

3.1 仿真模型及改进参数检测法测距流程

在 PSCAD 中搭建的仿真模型及参数如图 4 所示。系统电压等级 500 kV,线路全长 300 km,采用分布参数线路模型,其中,Z_{M1}、Z_{M0} 和 Z_{N1}、Z_{A0}分别为 M 端和 N 端的正序、零序系统阻抗;Z₁、Z₀分别为单位线路长度的正序、零序阻抗。在仿真过程中,针对不同故障类型在不同过渡电阻、不同故障距离、不同非同步角度、不同参数变化和不同负荷时的情况进行仿真计算和分析。



图 4 仿真模型及参数

Fig.4 Simulation model and parameters

具体测距流程如下。

a. 取故障前一周期数据和故障后一周期数据, 利用全波傅氏算法计算故障前后线路两端电压、电 流的基频分量,再运用对称分量法求得电压、电流的 正序分量。

b.根据式(8)、(9)利用故障前两端电压、电流的 正序分量计算非同步角度δ和误差归算系数α。

c. 将步骤 **b** 中求得的非同步角度 δ 和误差归算 系数 α 代入式(13)中进行参数修正,利用故障后的 两端电压、电流正序分量计算参数 A 和 B,最后根据 式(14)计算故障距离。

3.2 改进参数检测法与电压趋势法仿真结果对比

解决两端数据不同步问题的另一种测距算法为 电压趋势法,当两端电压、电流数据不同步时,这种 不同步只影响正弦信号的相位,而不影响其幅值。因 此,利用两端数据测得的故障点 F 处的电压幅值相 等,可得:

$$|\boldsymbol{U}_{MF}| = |\boldsymbol{U}_{NF}| \tag{15}$$

利用折半查找法求解式(15)即可得到故障距离 x。电压趋势法是基于在发生故障时全线路上有且仅 有一个点满足电压幅值相等的假设,即要求线路始 末两端感受到的电压趋势呈单调变化。实质上,由 线路两端数据算得的故障点电压幅值曲线可能是非 单调的。

表1所示为在过渡电阻为100Ω、两端电源相角 差为20°、非同步角度为18°的条件下,不同故障类 型、不同故障距离时改进参数检测法与沿线电压趋 势法的测距结果对比。其中,测距误差的定义式为:

表1 改进参数检测法与电压趋势法测距结果对比

Tab.1 Comparison of fault location results between proposed algorithm and voltage trend method

北陸	壮陸	测距结用 /1		E /01-	
议陧	议陧	侧距组	木/Km	L /	/ %
类型	距离/km	电压趋势法	本文检测法	电压趋势法	本文检测法
	30	29.61	30.14	0.13	0.05
AC	50	49.04	50.78	0.32	0.26
AC	150	149.57	149.89	0.14	0.04
	200	200.87	199.41	0.29	0.20
	30	26.40	29.78	1.20	0.07
ADN	100	98.65	99.72	0.45	0.09
ABN	150	149.48	149.65	0.17	0.12
	250	251.53	249.58	0.51	0.14

由表1可以看出,除电压趋势法在距离 M 端母 线30 km 处发生 AB 两相短路接地故障的测距结果 外,2 种基于非同步数据的测距算法误差都小于 0.5%, 但基于参数检测的故障测距算法精度更高。

为了更直观地进行对比分析,选取距离 M 端母 线 200 km 处发生 AC 相间短路故障和距离 M 端母 线 30 km 处发生 AB 两相短路接地故障的 2 组数 据,应用电压趋势法绘制两端电压变化曲线如图 5 所示,应用改进参数检测法绘制测距动态特性曲线 如图 6 所示(图 6 中,t=0 s 时故障发生)。





图 6 改进参数检测法测距结果

Fig.6 Results of fault location by proposed algorithm

由图 5(a)可以看出,由 M 端、N 端推得的故障 后沿线电压趋势都是单调的,只有 1 个交点,测距结 果准确;而在图 5(b)中,由 M 端推得的电压幅值先 减小后增大,与 N 端推得的电压幅值曲线有 2 个交点, 不仅产生了伪根判别问题,对测距精度也产生了较 大影响。由图 6(a)、(b)可以看出,改进的参数检测 法在故障发生 1 个周期后即可获得较为准确的测距 结果,并且不会产生伪根识别问题,在精度和可靠性 方面都优于电压趋势法。

3.3 改进参数检测法在不同条件下的测距结果

表 2 所示为不同过渡电阻及不同负荷条件下, 改进参数检测法的测距结果,其他参数为:两端电源 电势相角差为 20°,非同步角度为 18°,故障类型为 AB 相间短路。

表 2 不同故障情况下的测距结果 Tab.2 Results of fault location for different fault conditions

过渡	故障	测距结	5果∕km	E	$E \angle \%$	
电阻/Ω	距离/km	空载运行	$U_{\rm M} \wedge U_{\rm N} = 20^{\circ}$	空载运行	$U_{\rm M} \wedge U_{\rm N} = 20^{\circ}$	
	30	30.31	30.33	0.10	0.11	
0	100	100.12	99.93	0.04	0.02	
0	150	150.09	149.69	0.03	0.10	
	250	249.94	249.42	0.02	0.19	
	30	30.74	30.17	0.25	0.06	
100	100	100.47	99.94	0.16	0.02	
100	150	150.12	149.66	0.04	0.11	
	250	249.54	249.56	0.15	0.15	
	30	29.76	29.17	0.08	0.28	
200	100	99.92	99.37	0.03	0.21	
300	150	149.97	149.48	0.01	0.17	
	250	250.13	249.75	0.04	0.08	

由表2结果可知,基于改进参数检测的双端非同步数据故障测距算法,其测距精度不受过渡电阻及负荷电流的影响,测距误差均小于0.5%。

表 3 所示为在等效线路参数发生变化的情况 下,改进参数检测法的测距结果。其他参数为:两端

表 3	线路参数发生变化时的测距结果	

Tab	3	Results	s of	fault	location	for	different	line	parameters
-----	---	---------	------	-------	----------	-----	-----------	------	------------

	故障	测距结果/km		E / %		
γ	距离/km	补偿前	补偿后	补偿前	补偿后	
0.9γ	30	42.65	30.52	4.22	0.17	
	50	115.96	99.89	5.32	0.04	
	150	167.92	149.33	5.97	0.22	
	250	271.09	248.57	7.03	0.48	
	30	24.16	30.54	1.95	0.18	
1 1	100	90.97	99.94	3.01	0.02	
1.1γ	150	138.27	149.38	3.91	0.21	
	250	233.19	248.52	5.60	0.49	

电源相角差为 20°,非同步角度为 18°,过渡电阻为 100 Ω,故障类型为 A 相接地故障。

由表 3 可知,当线路参数发生改变时,与补偿前相比,改进参数检测法经过计算补偿后,测距结果仍较为准确,测距误差均小于 0.5%。

表 4 所示为在不同非同步角度时的测距结果和 最大误差 E_{max} 。其他参数为:两端电源相角差为 20°, 过渡电阻为 100 Ω 。

表 4 不同非同步角度时的测距结果 Tab.4 Results of fault location for different asynchronous angles

	usynonionous unglos							
故障	故障		测距结果/km					
类型	距离/km	$\delta = 0^{\circ}$	$\delta = 10^{\circ}$	$\delta = 20^{\circ}$	$\delta = 30^{\circ}$	$L_{\rm max}$ / 70		
	30	30.56	30.53	30.52	30.50	0.19		
AN	100	99.97	99.94	99.89	99.87	0.04		
AN	150	149.40	149.37	149.33	149.30	0.23		
	250	248.52	248.49	248.57	248.58	0.50		
	30	30.17	29.97	29.97	30.01	0.06		
A D	100	99.94	99.92	99.93	99.93	0.03		
AB	150	149.66	149.67	149.67	149.65	0.12		
	250	249.56	249.25	249.26	249.22	0.26		

由表4结果可知,在经过计算补偿后,基于改进 参数检测的双端非同步数据故障测距算法在不同非 同步角度条件下仍能得到较为准确的测距结果,最 大误差不超过0.5%。

4 基于故障录波数据的算法验证

2013年7月26日,山东 500 kV 电网益川 I 线(全 长 80.753 km)发生 B 相接地故障,实际巡线距离为距 益川站 68.44 km,录波报告(单端测距)为 74.04 km。 表 5 为根据故障前后线路两端录波数据整理的正序 电压和电流数据;表 6 为线路原始参数、根据故障前 数据计算出的修正参数、根据本文算法计算出的测 距结果等。测距结果表明,本文算法在实际工程应 用中具有可信赖的测距精度。

5 线路参数不对称对测距的影响

由于线路绝缘和相关技术方面的原因,500 kV 及以上电压等级的单回输电线路多数是水平排列且 不换位,这必将导致三相输电线路参数存在一定的

	Tab.5 Voltage and current data before and after fault							
Ì	計友	正序电	压/kV	正序电流/kA				
	坦石	故障前	故障后	故障前	故障后			
	益都	302.60∠-44.430°	253.58∠-46.57°	0.3100∠121.98°	0.291∠-40.67			
	淄川	302.88∠-46.333°	$245.72 \angle -53.76^{\circ}$	$1.5051 \angle -128.9^{\circ}$	5.980∠-129.1			

表 5 故障前后电压和电流数据

如石	故障前	故障后	故障前	故障
益都	$302.60 \angle -44.430^{\circ}$	$253.58 \angle -46.57^{\circ}$	$0.3100 \angle 121.98^{\circ}$	0.291∠-
淄川	$302.88 \angle -46.333^{\circ}$	$245.72 \angle -53.76^{\circ}$	$1.5051 \angle -128.9^{\circ}$	5.980∠-

表 6 线路参数及测距结果

Tab.6 Line parameters and fault location results

参数	数值
线路参数	$L_1 = 0.859 \text{ mH/km}, C_1 = 0.014 \mu \text{F/km}$
修正参数	$\alpha = 0.00578 + j0.1078, \delta = -3.145^{\circ}$
测距结果	69.24 km
巡线结果	68.44 km
测距误差	0.8 km

不对称。即使对于完全换位线路.线路参数平衡只是 从线路始端到末端之间的参数平衡。对于故障测距 而言,从故障检测端到故障点,其线路参数极少平衡, 只有在完全换位点发生故障时,其线路参数才平衡[16]。

表 7 所示为基于改进参数检测法的双端非同步 故障测距算法在线路不同换位情况时的测距结果。

表 7	线路ス	不同换位	立情况时	的测出	讵结果
Tab.7	Results	s of faul	t locatio	n for	differen
	line t	ransposi	tion con	dition	s

线路 换位情况	故障 类型	故障 位置/km	测距 结果/km	E/%
宫众協位	AN	30	30.53	0.18
元王]天世	AC	200	199.89	0.04
700 协会	AN	30	30.19	0.06
70% 换位	AC	200	199.63	0.12
50 0 按 位	AN	30	29.89	0.04
50% 供位	AC	200	199.44	0.19
20 0 按 1字	AN	30	29.60	0.13
30% 换位	AC	200	199.26	0.25
ウヘて協応	AN	30	29.25	0.25
元王小供世	AC	200	199.01	0.33

由表7可以看出,线路换位情况对本文算法测 距结果影响较小,且这种影响是近似线性的。这是 由于在故障点两端换位情况相同的情况下,线路不 完全换位或完全不换位对两端线路参数的影响是对 称的,经过参数修正补偿后能得到较为理想的结果。

为了更直观地分析线路换位情况对测距的影 响,绘制测距结果及误差折线图如图7所示。





图 7 不同换位情况时改进参数检测法测距结果及误差 Fig.7 Results of fault location by proposed algorithm and errors for different line transposition conditions

由图 7 中的测距结果容易看出,线路换位情况 对测距结果的影响是近似线性的,而图7所示的测 距误差折线与换位情况呈非线性是由于其他因素对 测距的影响以及测距误差存在正负性导致的。

结论 6

本文提出了基于改进参数检测法的双端非同步 数据故障测距算法。通过实时计算线路参数及非同 步角度,克服了线路长度、线路参数的不确定性对测 距精度的影响,在线路不完全换位或完全不换位时 也能得到较为准确的定位结果。采用正序分量进行 计算,无需判断故障类型,具有较好的自适应特性。 与拟牛顿法、参数估计法等相比无需迭代,计算量 小;与沿线电压趋势法相比,无需满足全线路有且仅 有一个点满足电压幅值相等的假设。数字仿真及实 际数据验证表明,该测距算法不受系统运行方式、过 渡电阻、两端数据不同步等因素的影响,有较高的测 距精度和可靠性,适用于利用联网录波数据的故障 定位。

参考文献:

[1] 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 Yuchun, LIU Xiaochuan. Survey of fault location algorithm based on two-terminal data of transmission line[J]. Relay, 2006.34(23):74-77.

[2] 王星华,李晓华,蔡泽祥,等. 基于工频量的双端故障测距软件的 实用化改进[J]. 电力自动化设备,2009,29(8):143-146.

WANG Xinghua, LI Xiaohua, CAI Zexiang, et al. Practical improvement of frequency-domain-based two-terminal fault location software [J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(8): 143-146.

[3] 宋振红,张举,唐杰. 一种基于双端电压相量测量的故障测距新 算法[J]. 电力自动化设备,2006,26(6):27-29.

SONG Zhenhong, ZHANG Ju, TANG Jie. Fault locating based on dual-terminal voltage measurement[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(6):27-29.

- [4]张晓明,徐岩,王瑜,等. 一种基于参数检测的双端故障测距算法
 [J]. 电力系统保护与控制,2011,39(12):106-111.
 ZHANG Xiaoming,XU Yan,WANG Yu,et al. A fault location algorithm for two-terminal transmission lines based on parameter detection[J]. Power System Protection and Control,2011,39(12): 106-111.
- [5] 刘涤尘,杜新伟,李媛,等. 基于遗传算法的高压长线路双端故障 测距研究[J]. 高电压技术,2007,33(3):21-25.

LIU Dichen, DU Xinwei, LI Yuan, et al. Fault location using two-terminal data for HV & long transmission line based on genetic algorithm[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(3):21-25.

[6] 卫志农,张颖,周红军. 基于双端不同步采样数据的高压输电线 路故障测距[J]. 继电器,2005,33(23):5-8. WEI Zhinong,ZHANG Ying,ZHOU Hongjun. A fault location

algorithm for HV transmission line based on two-terminal asynchronous data[J]. Relay,2005,33(23):5-8.

[7] 杜召满,赵舫. 一种新的超高压输电线路双端测距算法[J]. 高电 压技术,2003,29(11):11-12.

DU Zhaoman,ZHAO Fang. A new fault location algorithm using asynchronized two-terminal data[J]. High Voltage Engineering, 2003,29(11):11-12.

[8] 徐鹏,王钢,李晓华,等. 双端非同步数据故障测距的非线性估计 算法[J]. 继电器,2005,33(1):16-20.

XU Peng, WANG Gang, LI Xiaohua, et al. A nonlinear-estimation algorithm for two-terminal fault location on asynchronous data [J]. Relay, 2005, 33(1):16-20.

[9] 李勋,石帅军,龚庆武.采用信赖域法和双端非同步数据的故障 测距算法[J].高电压技术,2010,36(2):396-400.

LI Xun,SHI Shuaijun,GONG Qingwu. Transmission line fault location algorithm using trust-region method and two-terminal unsynchronised data[J]. High Voltage Engineering,2010,36(2): 396-400.

[10] 蒋春芳,王克英. 基于参数估计的双端不同步故障测距算法[J]. 继电器,2008,36(1):1-4.

JIANG Chunfang, WANG Keying. Unsynchronous two-terminal fault location algorithm based on line parameter estimation [J]. Relay, 2008, 36(1):1-4.

- [11] 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(4):62-66.
 LIANG Yuansheng,WANG Gang,LI Haifeng. Fault location algorithm based on time-frequency-domain with two terminals asynchronous [J]. Automation of Electric Power Systems,2009, 33(4):62-66.
- [12] HAGH M T, HOSSEINI M M. A novel fault location algorithm for double fed distribution networks[C]//Power Engineering and Automation Conference. [S.I.]:IEEE, 2011:327-330.
- [13] 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度算法[J]. 电力系统自动化,2001,25(18):24-27.
 TENG Lin,LIU Wanshun,LI Ying, et al. A novel practical accurate fault location algorithm HV transmission line[J]. Automation of Electric Power Systems,2001,25(18):24-27.
- [14] 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,2007:285-300.
- [15] 施世鸿,何奔腾.T型输电线路非同步数据故障测距新算法[J]. 电力自动化设备,2008,28(10):63-67.
 SHI Shihong,HE Benteng. Fault locating algorithm for T-type transmission lines with asynchronous sampling[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(10):63-67.
- [16] 陈锦根,徐青山,唐国庆. 计及线路不平衡时线模解耦不完全误差的行波单端测距新方法[J]. 电力自动化设备,2006,26(9): 54-57.

CHEN Jingen,XU Qingshan,TANG Guoqing. Fault locating algorithm for T-type transmission lines with asynchronous sampling[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(9): 54-57.

作者简介:



高厚磊(1963-),男,山东滕州人,教授, 博士研究生导师,主要从事电力系统继电保 护、故障测距、数字化变电站等方面的研究 工作(E-mail:houleig@sdu.edu.cn);

陈学伟(1988-),男,河北唐山人,硕士, 主要从事电力系统继电保护及故障测距方

高厚磊

面的研究工作(E-mail:cxwk.j@163.com); 刘洪正(1963-),男,山东济宁人,高级工

程师,长期从事超高压输电系统运行、维护

和管理工作(E-mail:liuhongzheng2006@sina.cn)。

Two-terminal asynchronous data fault location algorithm based on improved parameter detection method

GAO Houlei¹, CHEN Xuewei², LIU Hongzheng³, LI Chao³, FENG Yingchun³

(1. Key Laboratory of Power System Intelligent Dispatch and Control Ministry of Education,

Shandong University, Ji'nan 250061, China; 2. Tangshan Power Supply Company,

State Grid Jibei Electric Power Company Limited, Tangshan 063000, China;

3. Shandong Electric Power Corporation Maintenance Company, Ji'nan 250021, China)

Abstract: According to the distribution parameter model of power transmission line and the asynchronous data of its two terminals, a fault location algorithm based on the improved parameter detection method is proposed, which applies the voltage and current data of two terminals in normal condition to correct the asynchronous angle and line parameter in real time and uses the voltage and current data of two terminals in faulty condition to locate the fault. Compared to the quasi-Newton method, it avoids the iterative operation and has smaller calculation load; compared to the voltage trend method, it avoids the pseudo root discrimination; compared to the traditional parameter detection method, it corrects the asynchronous angle in real time. Simulative results by PSCAD/EMTDC show that, with high location accuracy, the proposed algorithm is slightly influenced by the fault condition and line transposition.

Key words: two-terminal fault location; electric fault location; electric lines; parameter detection; asynchronous data; line transposition; models