

一种适于高阻接地的单端时域测距算法

罗显通, 罗建

(重庆大学电气工程学院输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044)

摘要: 单端时域故障测距的难点在于单相经高阻接地故障问题。为了解决该问题, 针对传统单端时域测距算法在处理单相经高阻接地中所存在的不足, 提出了一种基于电流相差估计的单端时域算法。该算法能根据过渡电阻的大小自动补偿故障距离的测量误差, 具有对过渡电阻的自适应特性。算法的核心是建立过渡电阻、故障距离及电流相差角之间的约束方程组, 其电流相差角用序网络的参数来表示, 将过渡电阻和故障距离作为未知参数, 利用最小二乘法对参数进行求解辨识, 以实现准确的故障测距。EMTP 仿真表明, 该方法对于经过渡电阻的接地故障具有较高的测距精度。

关键词: 故障测距; 高阻接地; 最小二乘法; 电流相差角; EMTP 仿真

A time-domain fault location algorithm for high resistance grounding using one terminal data

LUO Xian-tong, LUO Jian

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipments & System Security and New Technology, College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The difficult point of time-domain fault location using one terminal data is single-phase-to-earth fault with high fault resistance. To cope with this problem, this paper finds the defects of traditional fault location method in dealing with high resistance grounding fault, and proposes a time domain location algorithm using one terminal data based on estimating the current phase difference. The algorithm can automatically compensate measuring distance according to the fault resistance. The main idea of this algorithm is to establish constraint equations set among the fault resistance, fault distance and the phase difference angle of current, in which phase difference angle is replaced by the parameters of sequence network, the fault distance and fault resistance are solved as the unknown variables by least squares technique. EMTP simulation results show the this method has high accuracy for fault location of high resistance grounding.

Key words: fault location; high resistance ground; least squares technique; current phase difference angle; EMTP simulation

中图分类号: TM744 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)08-0006-04

0 引言

在各种单端时域测距算法中, 解微分方程算法具有算法简单, 实时性好, 不必滤除衰减直流分量和不受电网频率波动的影响等优点, 可在电网保护等领域得到应用。然而传统的解微分方程算法受过渡电阻影响, 使其在测距精度方面存在严重不足, 限制了它的实际应用。为此, 许多学者进行了大量的研究, 文献[1]考虑了故障电弧的变化对测距的影响, 文献[2]考虑利用积分方法消除测距方程中的过渡电阻, 文献[3]利用最小二乘法对故障电流进行修正来改善测距精度, 文献[4]提出利用保护处检测到的有功功率来计算过渡电阻, 从而对测量阻抗进行补偿, 文献[5]在所建立的微分方程中消去了对侧电

流, 将故障距离、过渡电阻以及对侧系统运行参数作为未知量进行辨识。然而文献[1-4]均假设检测端电流与故障处电流具有相同的相位, 因此不可避免地产生了原理性误差, 文献[5]的方法虽可解决高阻接地所带来的测量误差, 却不能用于金属性短路故障的情况, 且其参数辨识方程受初值影响大, 不易收敛。

就解微分方程算法受过渡电阻影响的问题, 本文提出一种基于电流相差估计的单端时域测距算法。

1 传统单端时域测距算法的误差产生原因

以一简单的单回线双端供电系统为例, 如图 1 所示。

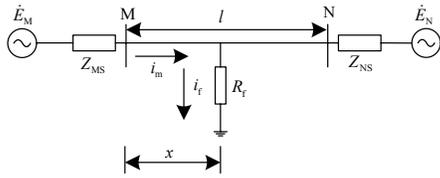


图 1 系统故障模型

Fig.1 Fault model of the system

图中保护测量装置安装在 M 侧, 测距的任务即通过装置检测的信息计算故障距离 x 。

由图 1 可得故障环路时域微分方程为

$$u_m = r_1 x i_m + L_1 x \frac{di_m}{dt} + R_f i_f \quad (1)$$

式中: r_1 , L_1 分别表示线路单位长度正序电阻和电感; R_f 为短路过渡电阻; u_m , i_m 为装置安装处的测量电压和电流; i_f 为流经过渡电阻的短路电流。

当 $R_f = 0$ 时, 由式 (1) 可以准确测距; 而在工程实际中, 短路常常伴随电弧的产生, 一般电弧电阻 $R_f \neq 0$, 此时由于 i_f 无法测量, 通常近似认为 i_m 与 i_f 同相位, 以 i_m 代替 i_f 计算。这种近似处理所带来的误差不仅与 R_f 的值有关, 而且与 i_m 和 i_f 对应相量的比值有关。特别是当 i_f 与 i_m 之间存在相位差, 且 R_f 较大时, 测距误差往往难以接受。

单相接地短路是三相线路中最常见的故障, 且其短路接地电阻往往较大而不能忽略, 因此本文以 A 相接地短路故障为例进行分析。故障发生时, 有如下微分方程:

$$u_{ma} = 3R_f + r_1 x (i_{ma} + K_R i_{m0}) + L_1 x \frac{d(i_{ma} + K_L i_{m0})}{dt} \quad (2)$$

式中: $K_R = (r_0 - r_1) / r_1$, $K_L = (L_0 - L_1) / L_1$, 分别为电阻及电感分量的零序补偿系数。

由于故障点电流不能直接检测, 所以假设故障点两侧的计算阻抗角相等, 即故障处的零序电流与装置安装处的零序电流同相位, 则有 $i_{f0} = K i_{m0}$, 其中 K 为实数。代入式 (2) 中并令 $R_{f1} = K R_f$, 则:

$$u_{ma} = 3R_{f1} i_{m0} + r_1 x (i_{ma} + K_R i_{m0}) + L_1 x \frac{d(i_{ma} + K_L i_{m0})}{dt} \quad (3)$$

则式 (3) 中只有 R_{f1} 和 x 两个未知数, 通过两次采样得到两个方程就可算出故障距离 x 。然而实际故障点两侧的阻抗角一般不相等, 因此该假设所引起的误差将随过渡电阻 R_f 的增大而放大。

设电流瞬时值为

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (4)$$

式中: i_m 为电流幅值; φ 为电流初相位。

则 i 对应的旋转相量为

$$\dot{I} = I_m \cos(\omega t + \varphi) + j I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (5)$$

1) 若 i_{f0} 与 i_{m0} 具有相同的相位, 如图 2 所示。则它们对应的旋转相量在同一条直线上, 随着采样时刻 t 的不同, \dot{I}_{f0} 与 \dot{I}_{m0} 的相位也在变化, 但二者始终处于同一直线上, 且 $i_{f0} / i_{m0} = |\dot{I}_{f0}| / |\dot{I}_{m0}| = K$, K 为定值, 不随采样时刻的不同而变化。此时采用 $i_{f0} = K i_{m0}$ 的假设不会引起误差。

2) 若 i_{f0} 与 i_{m0} 具有不同的相位, 如图 3 所示。则它们对应的旋转相量不在一条直线上, 且 $i_{f0} / i_{m0} = |\dot{I}_{f0}| / |\dot{I}_{m0}| \neq |\dot{I}_{f0}| / |\dot{I}_{m0}|$, 随着采样时刻的不同, $|\dot{I}_{f0}|$ 不变, 但 $|\dot{I}_{m0}|$ 的值会变化, 即 i_{f0} 与 i_{m0} 的比值不为定值, 而是随采样时刻的不同而变化。此时采用 $i_{f0} = K i_{m0}$ 的假设会引起误差。

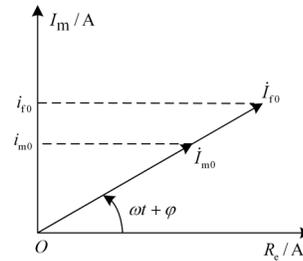


图 2 \dot{I}_{f0} 和 \dot{I}_{m0} 相位相同

Fig.2 \dot{I}_{f0} and \dot{I}_{m0} have the same phase

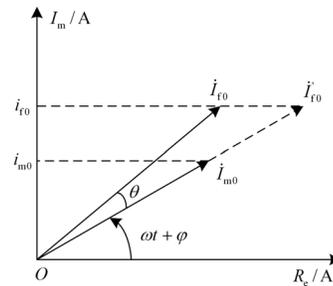


图 3 \dot{I}_{f0} 和 \dot{I}_{m0} 相位不同

Fig.3 \dot{I}_{f0} and \dot{I}_{m0} have different phases

2 基于电流相差估计的单端时域测距算法

由上节分析可知, 为消除过渡电阻的影响, 不宜采用 $i_{f0} = K i_{m0}$ 的假设, 而应考虑在相量 \dot{I}_{f0} 与 \dot{I}_{m0} 之间存在相差 θ (θ 可为正值或负值), 即:

$$\dot{I}_{f0} = K \dot{I}_{m0} e^{j\theta} \quad (6)$$

式中: K 为实数。

如图 1 所示, 对于 A 相接地故障, M 侧的电压为:

$$\dot{U}_{mA} = (\dot{I}_{mA} + k\dot{I}_{m0})Z_1 + 3\dot{I}_{m0}R_f \quad (7)$$

式中: $k = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1}$; Z_1 , Z_0 分别为线路的正、零序阻抗。

将式 (6) 代入式 (7) 中, 并化解为微分方程为:

$$u_{ma} = r_1 x (\dot{i}_{ma} + K_R \dot{i}_{m0}) + L_1 x \frac{d(\dot{i}_{ma} + K_L \dot{i}_{m0})}{dt} + 3KR_f I_{m0} \sin(\omega t + \varphi + \theta) \quad (8)$$

即

$$u_{ma} = r_1 x (\dot{i}_{ma} + K_R \dot{i}_{m0}) + L_1 x \frac{d(\dot{i}_{ma} + K_L \dot{i}_{m0})}{dt} + 3R_{f1} [i_{m0} \cos \theta + I_{m0} \cos(\omega t + \varphi) \sin \theta] \quad (9)$$

式 (9) 中有两个未知量, $I_{m0} \cos(\omega t + \varphi)$ 与 θ 。

$I_{m0} \cos(\omega t + \varphi)$ 为零序电流旋转相量的实部, 可通过三角函数分解法求解^[7], 化解后可表示为

$$I_{m0} \cos(\omega t + \varphi) = \frac{i_{m0}(t) - i_{m0}(t - \Delta t) \cos \omega \Delta t}{\sin \omega \Delta t} \cos \omega \Delta t - i_{m0}(t - \Delta t) \sin \omega \Delta t \quad (10)$$

式中: Δt 为采样时间间隔。

为求 θ , 考虑图 4 的系统零序等效网络, 其中 Z_{MS0} , Z_{NS0} 分别为两侧系统的零序阻抗; Z_{Lm0} , Z_{Ln0} 分别为故障点两侧的线路零序阻抗。

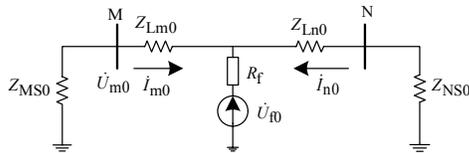


图 4 零序等效网络

Fig.4 Zero sequence equivalent network

由图 4 可得 m 侧零序电压微分方程为

$$u_{m0} = -R_{MS0} i_{m0} - L_{MS0} di_{m0} / dt \quad (11)$$

取 2 个不同时刻的采样值可求解式 (11) 中的 R_{MS0} 与 L_{MS0} , 从而得到 Z_{MS0} 。

对于 n 侧系统零序阻抗 Z_{NS0} , 一般不会有经常性的改变, 其值相对稳定, 可事先知道。

从而 θ 可以表示为:

$$\theta = \arg \frac{\dot{I}_{f0}}{\dot{I}_{m0}} = \arg \frac{\dot{I}_{m0} + \dot{I}_{n0}}{\dot{I}_{m0}} = \arg \frac{Z_{MS0} + Z_{Lm0} + Z_{Ln0} + Z_{NS0}}{Z_{Ln0} + Z_{NS0}} \quad (12)$$

设线路单位长度的零序阻抗为 Z_{L0} , 线路全长为 l , 故障距离为 x 。则式 (12) 可表示为:

$$\theta = \arg \frac{Z_{MS0} + Z_{NS0} + Z_{L0} \times l}{Z_{NS0} + Z_{L0} \times (l - x)} \quad (13)$$

结合式 (3)、(9)、(10)、(13) 可生成一套迭代算法以求解故障距离 x 。算法可分为 4 部分完成。

(1) 以故障发生时刻为起点采样 10 ms 的数据, 利用最小二乘算法求解式 (3) 得到 x 和 R_{f1} 的初值。

(2) 将求得的 x 代入式 (13) 计算弧度 θ 。

(3) 以上一步计算所得的 x 和 R_{f1} 作为初值, 将 θ 代入式 (9), 使用最小二乘法更新 x 和 R_{f1} 。

(4) 检查 R_{f1} 是否满足式 (14), 其中 δ 为预先设定的精度。若满足, 则输出故障距离 $x(n)$, 停止计算; 否则, 转入第 (2) 步骤继续迭代。

$$|R_{f1}(n) - R_{f1}(n-1)| < \delta \quad (14)$$

表 1 A 相接地短路时测距结果比较
Tab.1 Simulation results comparisons at A-phase earth fault

| 故障距离 /km | 过渡电阻 /Ω | 传统算法 | | 本文算法 | |
|----------|---------|-----------|----------|-----------|---------|
| | | 测量距离 /km | 测量误差/% | 测量距离 /km | 测量误差/% |
| 5 | 0 | 5.001 2 | 0.000 4 | 5.000 7 | 0.000 2 |
| | 10 | 5.138 0 | 0.04 6 | 5.011 3 | 0.003 8 |
| | 100 | 6.542 1 | 0.514 0 | 4.881 9 | 0.039 4 |
| | 300 | 10.561 8 | 1.853 9 | 4.696 0 | 0.101 3 |
| 20 | 0 | 20.004 9 | 0.001 6 | 20.014 6 | 0.004 8 |
| | 10 | 20.163 6 | 0.054 5 | 20.022 7 | 0.007 6 |
| | 100 | 21.765 8 | 0.588 6 | 19.717 1 | 0.094 3 |
| | 300 | 26.071 7 | 2.023 9 | 18.770 5 | 0.409 8 |
| 200 | 0 | 200.048 8 | 0.016 3 | 200.137 3 | 0.045 7 |
| | 10 | 201.211 2 | 0.403 7 | 200.209 1 | 0.069 7 |
| | 100 | 212.696 0 | 4.232 0 | 198.827 8 | 0.390 7 |
| | 300 | 241.393 9 | 13.798 0 | 196.637 2 | 1.120 9 |
| 250 | 0 | 250.061 0 | 0.020 3 | 250.168 2 | 0.050 6 |
| | 10 | 252.612 2 | 0.870 7 | 250.207 7 | 0.069 2 |
| | 100 | 277.995 3 | 9.331 8 | 248.026 6 | 0.657 8 |
| | 300 | 343.700 0 | 31.233 3 | 246.175 0 | 1.275 0 |

3 仿真和分析

仿真软件为 EMTP, 采样频率为 10 000 Hz, 数据处理软件为 Matlab 系统模型采用 500 kV 输电系统, 如图 1 所示。其中保护测控装置安装在 M 侧, M 侧和 N 侧系统参数分别为:

$$Z_{MS1} = (1.015 + j43.153)\Omega;$$

$$Z_{MS0} = (0.6 + j29.076)\Omega;$$

$$Z_{NS1} = (26 + j44.896)\Omega;$$

$$Z_{NS0} = (20 + j37.451)\Omega;$$

线路长度为 300 km, 线路参数为:

$$r_1 = 0.02083 \Omega/\text{km};$$

$$L_1 = 0.8984 \text{ mH}/\text{km};$$

$$c_1 = 0.0129 \mu\text{F}/\text{km};$$

$$r_0 = 0.1148 \Omega/\text{km};$$

$$L_0 = 2.2886 \text{ mH}/\text{km};$$

$$c_0 = 0.00523 \mu\text{F}/\text{km}.$$

表 1 给出了在不同故障位置, 经不同过渡电阻发生 A 相接地短路时, 传统单端时域测距算法和本文提出的测距算法测距结果的比较。表 2 给出了线路两侧系统等效电源相位差变化时, 故障距离为 20 km, 过渡电阻为 100 Ω 时本文算法的测距结果。表中的测距相对误差计算公式为:

$$\text{测距误差} = \frac{\text{测量距离} - \text{实际距离}}{\text{线路全长}}$$

表 2 不同系统电源相位差下的测距结果

Tab.2 Results of various source angle difference

| $\angle \dot{E}_M - \angle \dot{E}_N / (^\circ)$ | 测距结果 | |
|--|----------|---------|
| | 测量距离/km | 测量误差/% |
| -75 | 20.373 2 | 0.124 4 |
| -30 | 20.306 7 | 0.102 2 |
| 0 | 19.717 1 | 0.094 3 |
| 30 | 19.498 9 | 0.167 0 |
| 75 | 19.098 5 | 0.300 5 |

由以上仿真结果可以看出:

1) 金属性短路接地或经小过渡电阻接地短路时, 传统的测距算法和本文基于电流相差估计的测距算法都能比较准确地进行测距。

2) 经高阻接地短路时, 传统算法在故障点两侧阻抗角存在相位差时, 测距产生误差较大; 本算法中, 由于对相差进行了相应的补偿, 因此具有较高的测距精度。

3) 本文提出的单端时域测距算法可适应于线路两侧系统等效电源相位差变化较大的情况。

4 结论

在高阻接地状况下, 针对传统单端时域测距算法中假设检测端电流相位与故障电流相位相等而引起测距误差的问题, 本文提出了一种基于电流相差估计的单端时域算法, 其方法是建立过渡电阻、故障距离及电流相差角之间的约束关系, 利用最小二

乘法对三者进行修正以获得较为准确的故障距离。EMTP 仿真表明, 该算法抗过渡电阻和系统振荡能力强, 并具有较高的测距精度。

参考文献

- [1] 束洪春, 司大军, 葛耀中, 等. 高压输电线路电弧故障单端定位时域法新解[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(11): 25-29.
SHU Hong-chun, SI Da-jun, GE Yao-zhong, et al. A New Time Domain Method for Location Arc Fault in EHV Transmission Line Using One Terminal Data[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(11):25-29.
- [2] 李欣唐, 负志皓, 孟昭勇. 一种适于高阻接地短路的故障测距新算法[J]. 电力自动化设备, 2000, 20(4): 15-18.
LI Xin-tang, YUN Zhi-hao, MENG Zhao-yong. A New Algorithm of Fault Allocation for High Impedance Grounding[J]. Electric Power Automation Equipment, 2000, 20(4): 15-18.
- [3] 全玉生, 李平, 张煜, 等. 基于微分方程的单端故障测距新算法[J]. 电网技术, 2004, 28(21): 47-50.
QUAN Yu-sheng, LI Ping, ZHANG Yu, et al. A New One-terminal Fault Location Algorithm Based on Differential Equation[J]. Power System Technology, 2004, 28(21): 47-50.
- [4] Eissa M M. Ground Distance Relay Compensation Based on Fault Resistance Calculation[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, 21(4): 1830-1835.
- [5] 索南加乐, 齐军, 陈福锋, 等. 基于 R-L 模型参数辨识的输电线路准确故障测距算法[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(12): 119-125.
SUONAN Jia-le, QI Jun, CHEN Fu-feng, et al. An Accurate Fault Location Algorithm for Transmission Lines Based on R-L Model Parameter Identification[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(12): 119-125.
- [6] Andre Daros Filomena, Rodrigo Hartstein Salim, Mariana Resener, et al. Ground Distance Relaying with Fault-resistance Compensation for Unbalanced Systems[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2008, 23(3): 1319-1326.
- [7] 袁旭峰, 程时杰, 文劲宇. 改进瞬时对称分量法及其在正负序电量检测中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(1): 52-58.
YUAN Xu-feng, CHENG Shi-jie, WEN Jin-yu. An Improved Method of Instantaneous Symmetrical Components and Its Detection for Positive and Negative Sequence Current[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(1): 52-58.
- [8] 索南加乐, 许庆强, 宋国兵, 等. 自适应接地距离继电器[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(17): 54-58.

(下转第 14 页 continued on page 14)

- Systems, 2006, 30 (8) :7-11.
- [4] Demarco C L, Overbye T J. An Energy Based Security Measure for Assessing Vulnerability to Voltage Collapse[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1990, 5(2): 419-427.
- [5] Overbye T J, Demarco C L. Voltage Security Enhancement Using Energy Based Sensitivities[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1991, 6(3): 1196-1202.
- [6] 陈为化, 江全元, 曹一家. 基于风险理论和模糊推理的电压脆弱性评估[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(24): 20-25.
CHEN Wei-hua, JIANG Quan-yuan, CAO Yi-jia. Voltage Vulnerability Assessment Based on Risk Theory and Fuzzy Reasoning[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(24): 20-25.
- [7] 卢锦玲, 姬群星, 朱永利. 基于能量函数法的电网脆弱性评估[J]. 电网技术, 2008, 32(7): 30-33.
LU Jin-ling, JI Qun-xing, ZHU Yong-li. Power Grid Vulnerability Assessment Based on Energy Function[J]. Power System Technology, 2008, 32(7): 30-33.
- [8] 万官泉, 任震, 汪穗峰, 等. 基于支路断开安全裕度状态空间截断的电力系统可靠性算法[J]. 电网技术, 2007, 31(16): 60-66.
WAN Guan-quan, REN Zhen, WANG Sui-feng, et al. Evaluation Algorithm of Power System Reliability Using State Space Pruning of Security Margin Based on Branch Switched-off[J]. Power System Technology, 2007, 31(16): 60-66.
- [9] WAN Hua, Mc Calley J D, Vittal V. Risk based Voltage Security Assessment[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(4): 1247-1254
- [10] Kim Tae-Kyun, Choo Jin-Bu, Lee Seung-Hyuk, et al. Security Assessment for Bus Voltages Using Probabilistic Load Flow[A]. in: International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems[C]. 2004. 888-893.
- [11] 李华强, 刘亚梅, Yorino N. 鞍结分岔与极限诱导分岔的电压稳定性评估[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(24): 56-60.
LI Hua-qiang, LIU Ya-mei, Yorino N. Voltage Stability Assessment for Saddle Node Bifurcation and Limit Induced Bifurcation[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(24): 56-60.
- [12] 刘群英, 刘俊勇, 刘起方. 运用启发式能量函数观点的无功裕度估算[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(4): 29-36.
LIU Qun-ying, LIU Jun-yong, LIU Qi-fang. Reactive Power Margin Estimation by the View of the Heuristic Energy Function[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(4): 29-36.

收稿日期: 2009-05-24; 修回日期: 2009-07-03

作者简介:

李 杨 (1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统稳定与控制; E-mail: lyyb2003@126.com
刘俊勇 (1963-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统稳定性分析及电力市场;
朱国俊 (1982-), 男, 硕士, 从事特高压输电工程的建设管理和研究工作。

(上接第 9 页 continued from page 9)

- SUONAN Jia-le, XU Qing-qiang, SONG Guo-bing, et al. Adaptive Carth Fault Distance Relay[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(17): 54-58.
- [9] 吴萍, 张尧. 基于单端电气量的故障测距算法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(4): 5-7.
WU Ping, ZHANG Yao. Location Using One-terminal Data for Transmission Line[J]. Proceedings of the EPSA, 2003, 15(4): 5-7.
- [10] 黄小波, 林湘宁, 马晓飞, 等. 适用于集中参数单端测距模型的距离修正方法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(24): 44-48.
HUANG Xiao-bo, LIN Xiang-ning, MA Xiao-fei, et al. Improved Algorithm for the Lump Parameter Based Single-ended Fault Location Models [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(24): 44-48.
- [11] 方崇智, 萧德云. 过程辨识[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
FANG Chong-zhi, XIAO De-yun. Process Identification[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998.
- [12] Gopalakrishnan A, Kezunovic M, McKenna S M, et al. Fault Location Using the Distributed Parameter Transmission Line Model[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2000, 15(4): 1169 - 1174.
- [13] 洪佩孙, 李九虎. 输电线路距离保护[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
HONG Pei-sun, LI Jiu-hu. Transmission Line Distance Protection[M]. Beijing: China Water Power Press, 2008.
- [14] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
ZHU Sheng-shi. Relay Protection Principle and Technology of High Voltage Network[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

收稿日期: 2010-02-04; 修回日期: 2010-03-30

作者简介:

罗显通 (1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: luoxiantong6@163.com
罗 建 (1960-), 男, 副教授, 研究方向为电力系统保护与控制。