

DOI: 10.7667/PSPC160003

一种采用时间判别法的混合线路故障行波定位方法

刘顺桂¹, 李勋¹, 张宏钊¹, 邹世明²

(1. 深圳供电局有限公司, 广东 深圳 518048; 2. 长沙理工大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 为解决三段式混合线路故障测距问题, 在分析混合线路行波传播特性的基础上, 提出一种采用时间判别法的混合线路故障行波测距方法。首先, 假定故障发生路段, 利用故障暂态行波到达双端母线测量端的时间差值来推算出故障暂态行波在该路段内传播到线路两侧的时间差值。然后, 通过该时间差值与故障发生在该线路首端和末端的时间差值进行比较, 选出满足条件的时间差值并结合双端原理给出测距结果。PSCAD 仿真结果表明, 采用时间判别法的混合线路故障行波测距方法可以准确、可靠地给出测距结果。

关键词: 混合线路; 行波; 传播特性; 双端原理; 故障测距

A traveling wave fault location method of hybrid line using time discrimination

LIU Shungui¹, LI Xun¹, ZHANG Hongzhao¹, ZOU Shiming²

(1. Shenzhen Power Supply Co., Ltd., Shenzhen 518048, China; 2. College of Electrical and Information Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: In order to solve the fault location problem of the three-stage hybrid line, a traveling wave fault location method with time discrimination is proposed by analyzing the traveling wave propagation characteristics of the hybrid line. Firstly, the fault section is assumed and the time errors of the fault transient traveling wave are calculated using the time errors that the fault transient traveling wave reached the end of the bus terminal. Then, the time errors are selected that satisfied conditions and the results are given with the double-ended method by comparing this time errors with the time errors that the fault occurred on the first and the end of the line. The PSCAD simulation shows that the proposed traveling wave fault location method of hybrid line with time discrimination can give an accurate and reliable result.

Key words: hybrid line; traveling wave; propagation characteristic; double-ended method; fault location

0 引言

随着现代化城市建设工程的不断推进, 线缆混合的线路结构应用越来越广泛。在市外, 为了节约成本, 常选用架空线路进行输电, 而在市内, 为了美化市容、节约土地资源等, 则采用敷设电缆的方式进行输电, 且常在变电站侧采用架空线路进行输电。另外, 为跨越大水道、海峡等特殊工况, 也采用该供电模式, 从而使得架空线-电缆-架空线三段式线缆混合输电线路应用越来越广泛^[1]。当线缆混合线路发生故障时, 由于故障行波传播特性较复杂, 其故障定位方法的研究显得尤为重要。

国内外学者已提出大量的输电线路故障定位方法^[2-25], 根据测距原理的不同, 主要分为阻抗法和行波法; 根据测距所用电气量的不同, 主要分为单端法和双端法; 根据所需数据是否同步, 分为同步

数据法和不同步数据法。文献[11]提出一种基于快速本征模态分解和能量算子的多端输电线路行波故障定位方法, 该方法首先由能量突变点确定故障初始行波到达时刻, 再利用故障支路判定矩阵求得故障支路, 最终计算故障距离的均值。整个计算过程相对复杂, 工程实现有一定难度。文献[12]提出通过分析线路两侧得到的电压与电流电气量来给出测距结果, 但此分析方法只适用于正弦模型, 测距精度受高次谐波和非周期分量的影响较大, 不利于实现。文献[13-14]提出利用双端法来进行初步故障测距, 再由单端法给出准确测距结果。这种方法消除了线路给定长度误差和双端时间同步误差, 但此类方法仅适用于单一线路或者两段式混合线路。文献[15]提出基于混合输电线路分布参数模型的单端、双端两种故障测距算法, 无需时间同步, 但此方法只适用于比较简单的两段混合线路, 对于多段混合

线路判断依据会比较复杂,测距误差也会随之增加。文献[16]针对提出一种单端测距方法,只需利用线路一端的电流电压电气量即可给出测距结果,但此方法测距精度受故障类型以及过渡电阻的影响。文献[17-21]提出波速度单一化处理的双端测距方法,此方法归算过程复杂,需要精确的时间同步,难免引起测距误差。文献[22]提出一种分段式补偿原理的双端行波测距方法,但此方法在应用到三段式混合线路时,需要首先进行时间补偿判断区段后,再给出测距结果,原理较为复杂。文献[23]提出一种基于时间中点法的行波定位方法,但此方法需要首先确定时间中点的位置,然后选定故障搜索方向进行故障搜索,找到故障点后再由时间距离推算出故障点到测量装置实际的距离,过程较复杂。

本文所提方法无需确定时间中点位置和故障搜索方向,无需考虑复杂的故障行波传播过程,原理简单,只需利用故障行波到达母线两侧测量端的时间差值即可给出测距结果,具有较高的工程应用价值。

1 线缆混合输电线路故障行波传播特性

图1中,S和R分别表示线缆混合线路两端母线侧,F表示线缆混合输电线路故障发生的位置,P和O分别表示电缆与架空线的连接点, L_1 、 L_2 、 L_3 分别表示架空线SP段、电缆PO段和架空线OR段总长度, D_{SF} 、 D_{RF} 分别表示故障点F到母线S端和R端的距离, t_{S1} 和 t_{R1} 分别表示故障行波到达线路S端和R端母线的绝对时刻。

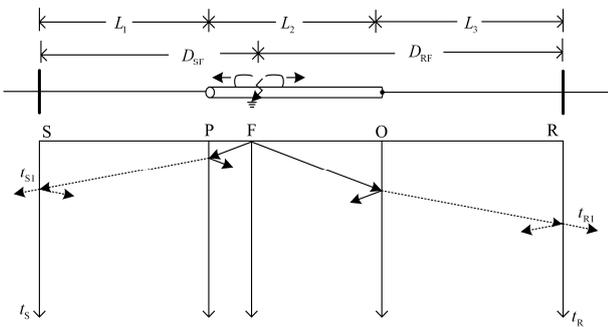


图1 线缆混合输电线路故障行波传播示意图

Fig. 1 Diagram of fault traveling wave propagation for hybrid transmission line

从图1中可以看出,当线缆混合线路在电缆段发生故障后,故障行波从故障点F处同时向两端母线S侧和R侧传播,向S侧传播的故障行波经过架空线与电缆的连接点P处发生一次折射和反射后,折射行波继续向母线S侧传播并首次到达母线S

侧,并在S侧发生一次折射和反射;而向R侧传播的故障行波经过电缆与架空线的连接点O处发生一次折射和反射后,折射行波继续向母线R侧传播并首次到达母线R侧,并在R侧发生一次折射和反射,如此周而复始,由于后续复杂的行波折反射过程不用于测距,图中并未画出。

2 线缆混合线路故障行波定位方法

2.1 各区段双端时间的给定

在线缆混合输电线路两端母线侧测量装置中采集故障行波到达线路两端测量装置的时间差,记为: $\Delta t = t_{S1} - t_{R1}$,故障行波在架空线和电缆中的传播速度分别记为 v_1 和 v_2 。

假设故障发生在架空线SP段时,有:

$$\Delta t = t_{S1} - t_{R1} = \frac{L_{SF}}{v_1} - \frac{L_{PF}}{v_1} - \frac{L_2}{v_2} - \frac{L_3}{v_1} \quad (1)$$

由式(1)可推导出故障暂态行波在架空线SP段内传播到该线路两侧的时间差值,记为 Δt_1 ,且其计算公式为

$$\Delta t_1 = \frac{L_{SF}}{v_1} - \frac{L_{PF}}{v_1} = \Delta t + \frac{L_2}{v_2} + \frac{L_3}{v_1} \quad (2)$$

同理,假设故障分别发生在电缆PO段和架空线OR段内时,可推导出故障暂态行波在电缆PO段和架空线OR段内传播到该线路两侧的时间差值,分别记为 Δt_2 和 Δt_3 ,其计算公式分别为

$$\Delta t_2 = \frac{L_{PF}}{v_2} - \frac{L_{OF}}{v_2} = \Delta t - \frac{L_1}{v_1} + \frac{L_3}{v_1} \quad (3)$$

$$\Delta t_3 = \frac{L_{OF}}{v_1} - \frac{L_{RF}}{v_1} = \Delta t - \frac{L_1}{v_1} - \frac{L_2}{v_2} \quad (4)$$

2.2 故障测距结果

若 $-\frac{L_1}{v_1} \leq \Delta t_1 \leq \frac{L_1}{v_1}$,则故障点到母线S侧的距离由式(5)给出:

$$D_{SF} = \frac{1}{2} \times (L_1 + v_1 \Delta t_1) \quad (5)$$

若 $-\frac{L_2}{v_2} \leq \Delta t_2 \leq \frac{L_2}{v_2}$,则故障点到母线S侧的距离由式(6)给出:

$$D_{SF} = L_1 + \frac{1}{2} \times (L_2 + v_2 \Delta t_2) \quad (6)$$

若 $-\frac{L_3}{v_1} \leq \Delta t_3 \leq \frac{L_3}{v_1}$,则故障点到母线S侧的距离由式(7)给出:

$$D_{SF} = L_1 + L_2 + \frac{1}{2} \times (L_3 + v_1 \Delta t_3) \quad (7)$$

3 仿真验证

3.1 建立仿真模型

利用电磁暂态仿真软件 PSCAD 建立如图 2 所示 500 kV 线缆混合输电线路模型, 其中, S 端和 R 端的系统电抗均为 0.0314Ω , L_1 为 124.411 km, L_2 为 31.4 km, L_3 为 13.468 km, F_1 点距离 S 端的距离 25 km, F_2 点距离 S 端的距离 138.411 km, F_3 点距离 S 端的距离 160.811 km, 仿真频率为 1 MHz, 仿真模型如图 2 所示。

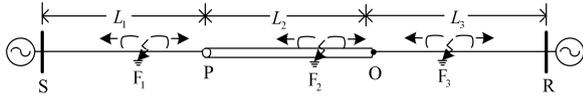


图 2 500 kV 线缆混合输电线路电路图

Fig. 2 Diagram of 500 kV hybrid transmission line

模型中架空线路为水平布置的不换位架空输电线路结构, 具体如图 3 所示。图中, C1、C2 代表

架空地线, C3、C4、C5 代表 A、B、C 三相线, 导线选用 LGJQ-300×4, 直径 23.7 mm, 4 分裂, 裂相距离 45 cm, 直流电阻 $0.108 \Omega/\text{km}$ 。地线选用 2×LHGJJ-90(分段接地), 直径 14.84 mm, 直流电阻 $0.374 \Omega/\text{km}$ 。根据架空线路几何参数可求得故障行波在架空线路中的传播速度为 294 km/ms。

电缆的几何参数如图 4 所示。

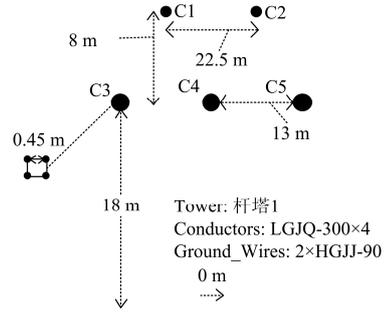


图 3 架空输电线路结构图

Fig. 3 Structure diagram of overhead transmission line

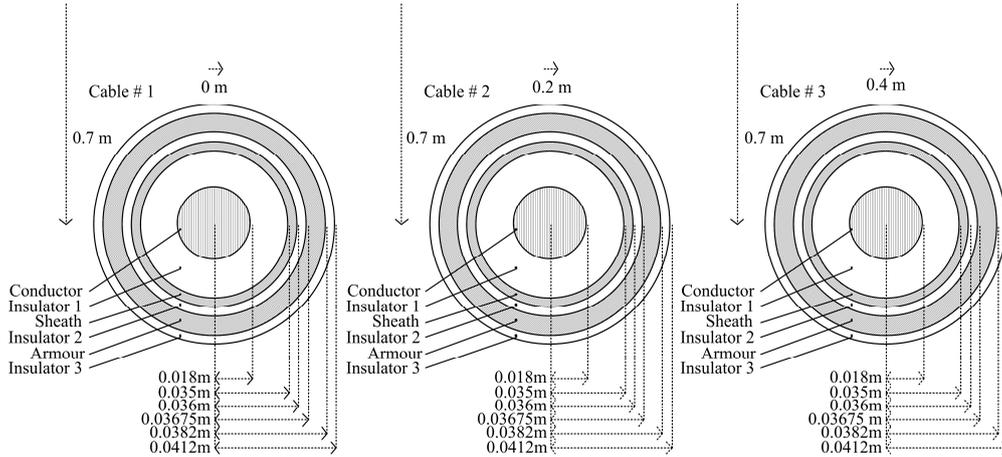


图 4 电缆几何参数分布图

Fig. 4 Diagram of the geometric parameters of cable

由电缆几何参数可求得行波在电缆线路中的传播速度为 192 km/ms。

由此可得: $L_1/v_1 = 423.167 \mu\text{s}$, $L_2/v_2 = 163.542 \mu\text{s}$, $L_3/v_3 = 45.810 \mu\text{s}$ 。

3.2 故障仿真

(1) F_1 点故障

设 $t=0$ 时, 在 F_1 点发生 A 相接地故障, 故障初始角为 90° , 过渡电阻为 20Ω 。线缆混合线路两端测得的故障相电流与故障相电压波形如图 5 所示。

通过波形分析, 可得故障行波到达 S 端和 R 端的初始时刻分别为 $t_{S1}=68 \mu\text{s}$, $t_{R1}=566 \mu\text{s}$ 。可计算出 $\Delta t=t_{S1}-t_{R1}=-497 \mu\text{s}$, 代入式(1)~式(3)可得: $\Delta t_1=-287.648 \mu\text{s}$, $\Delta t_2=-874.357 \mu\text{s}$, $\Delta t_3=-1083.708$

μs , 满足 $-423.167 \mu\text{s} \leq \Delta t_1 \leq 423.167 \mu\text{s}$, 代入式(4)可得: $D_{SF}=19.921244 \text{ km}$, 测距误差为 78.756 m。

(2) F_2 点故障

设 $t=0$ 时, 在 F_2 点发生 A 相接地故障, 故障初始角为 90° , 过渡电阻为 20Ω 。线缆混合线路两端测得的故障相电流与故障相电压波形如图 6 所示。

通过波形分析, 可得故障行波到达 S 端和 R 端的初始时刻分别为 $t_{S1}=495 \mu\text{s}$, $t_{R1}=137 \mu\text{s}$ 。可计算出 $\Delta t=t_{S1}-t_{R1}=358 \mu\text{s}$, 代入式(1)~式(3)可得: $\Delta t_1=567.351 \mu\text{s}$, $\Delta t_2=-19.357 \mu\text{s}$, $\Delta t_3=-228.708 \mu\text{s}$, 满足 $-163.542 \mu\text{s} \leq \Delta t_2 \leq 163.542 \mu\text{s}$, 代入式(5)可得: $D_{SF}=138.252728 \text{ km}$, 测距误差为 158.272 m。

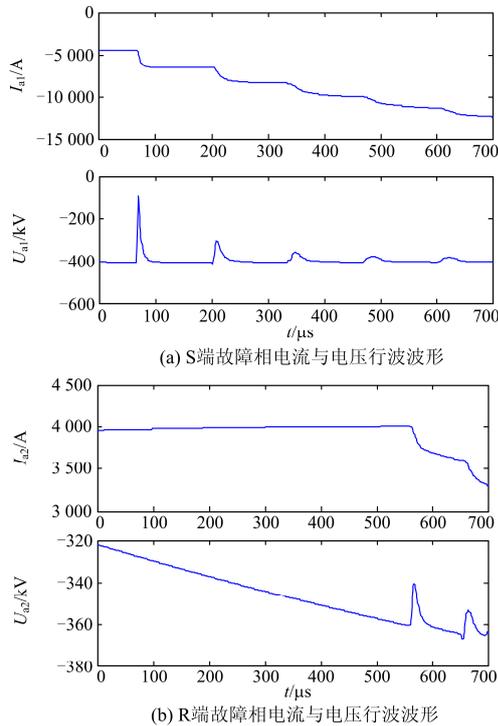


图 5 F_1 点故障时 S 和 R 端的故障相电流与电压行波波形
Fig. 5 Diagram of waveforms of the fault phase current and voltage of the end of S and R for the F_1 point of failure

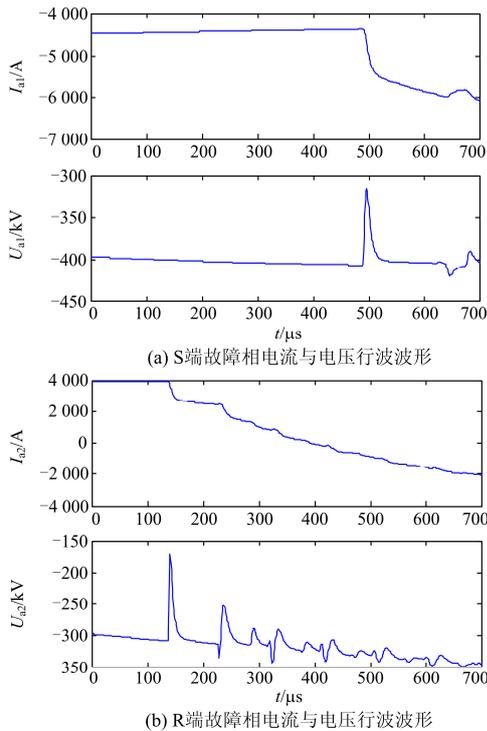


图 6 F_2 点故障时 S 和 R 端的故障相电流与电压行波波形
Fig. 6 Diagram of waveforms of the fault phase current and voltage of the end of S and R for the F_2 point of failure

(3) F_3 点故障

设 $t=0$ 时, 在 F_1 点发生 A 相接地故障, 故障初始角为 90° , 过渡电阻为 20Ω 。线缆混合线路两端测得的故障相电流与故障相电压波形如图 7 所示。

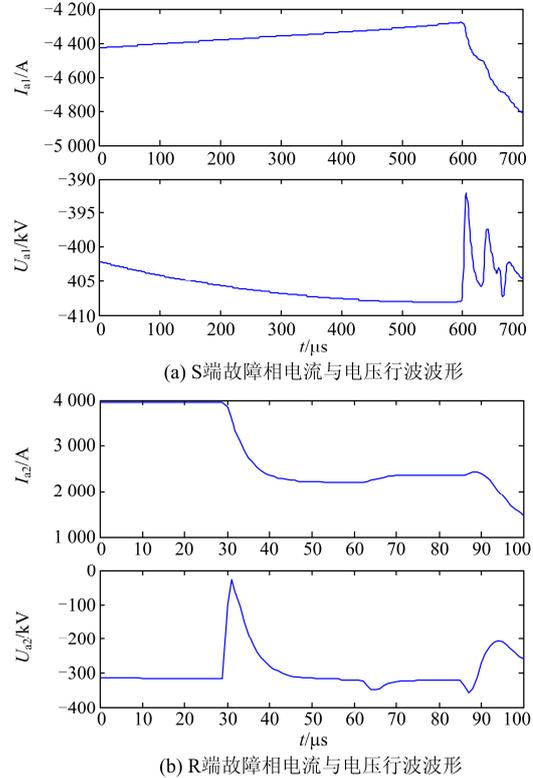


图 7 F_3 点故障时 S 和 R 端的故障相电流与电压行波波形
Fig. 7 Diagram of waveforms of the fault phase current and voltage of the end of S and R for the F_3 point of failure

通过波形分析, 可得故障行波到达 S 端和 R 端的初始时刻分别为 $t_{S1}=603 \mu s$, $t_{R1}=29 \mu s$ 。可计算出 $\Delta t=t_{S1}-t_{R1}=574 \mu s$, 代入式(1)~式(3)可得: $\Delta t_1=783.351 \mu s$, $\Delta t_2=196.643 \mu s$, $\Delta t_3=-12.708 \mu s$, 满足 $-45.810 \mu s \leq \Delta t_3 \leq 45.810 \mu s$, 代入式(6)可得: $D_{SF}=160.676 924 \text{ km}$, 测距误差为 134.076 m 。

表 1 给出了线缆混合线路在 6 个不同位置发生故障时, 应用本文所提方法得到的故障定位结果和误差, 并与文献[22]所提时间中点法所得到的测距结果进行比较。

从表 1 的定位结果可知, 所提出的高压线缆混合线路故障行波测距方法的测距误差一般在 200 m 以内, 测距精度明显比时间中点法的测距精度要高, 由此可知, 本文所提出的线缆混合线路行波测距方法可简单方便、准确可靠地给出故障发生的具体位置。

表 1 线缆混合线路故障仿真的定位结果
Table 1 Results of fault simulation for hybrid line

| 序号 | M 端到故障点 实际距离/km | $\Delta t/\mu\text{s}$ | $\Delta t_1/\mu\text{s}$ | $\Delta t_2/\mu\text{s}$ | $\Delta t_3/\mu\text{s}$ | 本文所提方法 测距结果/km | 测距误差/m | 时间中点法测距结果/km |
|----|--------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|---------|--------------|
| 1 | 20 | -497 | -287.648 | -874.357 | -1 083.708 | 19.921 244 | 78.756 | 19.869 5 |
| 2 | 124.3 | 212 | 421.351 | -163.357 | -372.708 | 124.144 097 | 155.903 | 124.122 9 |
| 3 | 138.411 | 358 | 567.351 | -19.357 | -228.708 | 138.252 728 | 158.272 | 138.248 6 |
| 4 | 154.411 | 525 | 734.351 | 147.643 | -59.708 | 154.284 728 | 126.272 | 154.223 |
| 5 | 160.811 | 574 | 783.351 | 196.643 | -12.708 | 160.676 924 | 134.076 | 160.634 |
| 6 | 164.811 | 601 | 810.351 | 223.643 | 14.292 | 164.645 924 | 165.076 | 164.603 |

4 结论

本文在分析高压线缆混合输电线路故障行波传播特性的基础上, 提出一种采用时间判别法的混合线路故障行波测距方法, 该方法只需利用故障初始行波到达双端测量装置的时间差、线路长度以及行波在电缆与架空线中的传播速度即可准确地定位故障点位置, 解决了传统双端测距方法不能直接应用于混合输电线路故障测距的难题。仿真结果表明, 测距误差在实际工程允许误差范围内, 具有较高可靠性和鲁棒性。

本文所提方法适用于多种不同波阻抗特性线路并存的情况, 可缩短故障查找时间, 提高测距可靠性, 对于电网安全运行具有重要意义, 具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 陈政, 康义, 马怡情. 广东-海南 500 kV 交流跨海联网工程无功补偿及电磁暂态研究[J]. 电网技术, 2009, 33(19): 143-147.
CHEN Zheng, KANG Yi, MA Yiqing. Analysis on reactive compensation and electromagnetic transient in 500 kV sea trails interconnection project for Hainan and Guangdong power grids[J]. Power System Technology, 2009, 33(19): 143-147.
- [2] LIVANI H, EVRENOSOGU C Y, et al. A machine learning and wavelet-based fault location method for hybrid transmission lines[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2014, 5(1): 51-59.
- [3] 耿建昭, 王宾, 董新洲. 利用单相跳闸后信息的输电线路单相接地单端精确测距方法[J]. 电工技术学报, 2015, 30(16): 184-193.
GENG Jianzhao, WANG Bin, DONG Xinzhou. A novel one-terminal single-line-to-ground fault location algorithm in transmission line using post-single-phase-trip date[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(16): 184-193.
- [4] 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.
- [5] SADEH J, AFRADII H. A new and accurate fault location algorithm for combined transmission lines using adaptive network-based fuzzy inference System[J]. Electric Power Systems Research, 2009, 79: 1538-1545.
- [6] 陈仕龙, 谢佳伟, 毕贵红, 等. 一种特高压直流输电线路神经网络双端故障测距新方法[J]. 电工技术学报, 2015, 30(4): 257-264.
CHEN Shilong, XIE Jiawei, BI Guihong, et al. A novel two terminal fault location method used ANN for UHVDC transmission line[J]. Transactions of China Electrotechnical society, 2015, 30(4): 257-264.
- [7] 徐高, 龚庆武, 李勋, 等. 基于原子分解和行波自然频率的单端故障测距方法[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(5): 133-138.
XU Gao, GONG Qingwu, LI Xun, et al. Single-terminal fault location based on atomic decomposition and natural frequency of traveling wave[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(5): 133-138.
- [8] 耿伟超. 电缆—架空线混合线路故障行波测距[D]. 北京: 华北电力大学, 2011.
GENG Weichao. Study on traveling wave location method of cable-overhead transmission line faults[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2011.
- [9] 刘延鹏. 电缆—架空线混合输电线路故障测距研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2012.
LIU Yanpeng. Study of fault location algorithm for hybrid transmission line composed by high voltage cable and overhead line[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2012.
- [10] 梁睿, 杨学君, 薛雪, 等. 零序分布参数的单相接地故障精确定位研究[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12): 472-479.
LIANG Rui, YANG Xuejun, XUE Xue, et al. Study of accurate single-phase grounding fault location based on distributed parameter theory using data of zero sequence components[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(12): 472-479.
- [11] 范新桥, 朱永利. 基于双端行波原理的多端输电线路故障定位新方法[J]. 电网技术, 2013, 37(1): 261-269.

FAN Xinqiao, ZHU Yongli. A novel fault location scheme for multi-terminal transmission lines based on principle of double-ended traveling wave[J]. Power System Technology, 2013, 37(1): 261-269.

[12] 杨军, 伍咏红, 江文波, 等. 基于双端故障信息的高压电缆—架空线混合线路故障测距方法[J]. 电网技术, 2010, 30(1): 209-213.

YANG Jun, WU Yonghong, JIANG Wenbo, et al. A fault location algorithm for hybrid transmission line composed by high voltage cable and overhead line based on two-terminal information[J]. Power System Technology, 2010, 30(1): 209-213.

[13] 王奎鑫, 祝成, 孙佳佳, 等. 输电线路组合行波测距方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(15): 82-86.

WANG Kuixin, ZHU Cheng, SUN Jiajia, et al. Research of combined traveling wave's fault location method on transmission lines[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(15): 82-86.

[14] 李泽文, 易志鹏, 杨毅, 等. 基于遗传算法的电网故障行波定位装置的优化配置[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(3): 77-83.

LI Zewen, YI Zhipeng, YANG Yi, et al. Optimal placement of traveling wave fault location equipment for power grid based on genetic algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(3): 77-83.

[15] 张艳华. 混合输电线路故障测距算法研究[D]. 济南: 山东大学, 2012.

ZHANG Yanhua. research on fault location algorithm for combined transmission lines[D]. Jinan: Shandong University, 2012.

[16] 张金虎, 徐振宇, 杨奇逊, 等. 基于改进 RL 模型的串联补偿线路单相接地故障测距新算法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 1-7.

ZHANG Jinhua, XU Zhenyu, YANG Qixun, et al. A novel single-phase ground fault location algorithm for series compensated line based on improved RL model[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 1-7.

[17] 徐高, 龚庆武, 李勋, 等. 一种利用行波自然频率的杆塔故障定位新方法[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(5): 78-102.

XU Gao, GONG Qingwu, LI Xun, et al. A novel method of tower fault location using natural frequencies of traveling wave[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(5): 78-102.

[18] 李勋, 黄荣辉, 姚森敬, 等. 一种改进行波时频复合分析的杆塔故障定位方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(20): 130-136.

LI Xun, HUANG Ronghui, YAO Senjing, et al. A novel fault location method by tower based on traveling wave time-frequency analysis[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(20): 130-136.

[19] 张宝树. 电缆—架空线混合线路故障测距方法研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2010.

ZHANG Baoshu. Study on traveling wave location method of cable-overhead transmission line faults[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2010.

[20] HUANG Yizhuang, LI Quanxiao, XIA Mingchao. A new fault location method[C] // International Conference on Power System Technology, Singapore, 2002.

[21] 于玉泽, 覃剑, 李功新, 等. 电缆 - 架空线混合线路故障测距方法综述[J]. 电网技术, 2006, 30(17): 64-69.

YU Yuze, QIN Jian, LI Gongxin, et al. A survey on fault location methods for hybrid transmission lines consisting of power cables and overhead lines[J]. Power System Technology, 2006, 30(17): 64-69.

[22] 薛永端, 李乐, 俞恩科, 等. 基于分段补偿原理的电缆架空线混合线路双端行波故障测距算法[J]. 电网技术, 2014, 38(7): 1953-1958.

XUE Yongduan, LI Le, YU Enke, et al. A sectionalized compensation based two-terminal traveling wave fault location algorithm for hybrid transmission line composed of power cable and overhead line[J]. Power System Technology, 2014, 38(7): 1953-1958.

[23] 季涛, 孙同景, 徐丙垠, 等. 配电混合线路双端行波故障测距技术[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(12): 89-94.

JI Tao, SUN Tongjing, XU Bingyin, et al. Study on fault location of distribution mixed feeders based on double terminal method of traveling waves[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(12): 89-94.

[24] 钱佳琪, 叶佳卓, 旷哲, 等. 基于 S 变换的多端输电网故障定位方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(23): 82-88.

QIAN Jiaqi, YE Jiazhao, KUANG Zhe, et al. A fault-location method for multi-terminal transmission network based on S transform[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(23): 82-88.

[25] 牛睿, 梁军, 张峰, 等. 基于可变形波辨识时窗的单端故障定位方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(24): 56-64.

NIU Rui, LIANG Jun, ZHANG Feng, et al. Single-ended fault location method based on variable time windows for traveling wave identification[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(24): 56-64.

收稿日期: 2016-01-04; 修回日期: 2016-03-07

作者简介:

刘顺桂(1963-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统运行与控制、继电保护等管理工作; E-mail: lsgszgd@163.com

李勋(1983-), 男, 通信作者, 博士, 高级工程师, 主要从事主网技术监督和电力新技术研究工作; E-mail: epcman@vip.qq.com

张宏钊(1987-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事主网技术监督工作. E-mail: zhanghongzhao05@126.com

(编辑 葛艳娜)