

一侧同杆四回线与两侧同杆双回线构成的 T 型输电线路 故障测距新方法

于仲安¹, 程明钊¹, 郭培育¹, 邵能灵²

(1. 江西理工大学电气工程与自动化学院, 江西 赣州 341000; 2. 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘要: 通过深入研究同杆四回线与双回线构成的混合输电线路的特点, 提出了相应的反序正序网络。在此基础上, 综合反序正序电流, 再利用故障支路的母线处始端推算到故障点的反序正序电压与从 T 支节点处推算到故障点的反序正序电压相等的关系得出测距方程, 基于方程的解同时进行故障侧判断和测距。大量的 PSCAD/EMTDC 仿真结果验证了新方案的正确性及精确性, 并且该算法的精度不受故障类型、过渡电阻、系统运行方式和系统阻抗等因素的影响。

关键词: 同杆四回线; 同杆双回线; 反序电流; 混合线路; 故障测距

A new fault locating of T-type transmission line consisting of four parallel-line and double circuit

YU Zhong-an¹, CHENG Ming-zhao¹, GUO Pei-yu¹, TAI Neng-ling²

(1. School of Electrical Engineering and Automation, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;

2. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Based on the characteristics of mixed lines composed by four-circuit lines and double-circuit lines on the same tower, the corresponding inverted-sequence positive sequence networks are proposed. on the basis, this paper combines with negative current and positive current and uses the relationship that the negative and positive voltage from bus beginning terminal of fault branch to fault point is equal to the voltage from the T branch node to fault point to derive the fault location equation. According to the solution of the equation, its fault side and fault locating are detected simultaneously. Results of PSCAD/EMTDC simulation verify that the new scheme is accurate and not influenced by fault type, transition resistance, system operating mode and other factors on locating precision.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51177066 and No. 51377104).

Key words: four parallel-line on same tower; double-circuit line on same tower; inverted-sequence current; mixed lines; fault locating

中图分类号: TM77

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2014)15-0008-07

0 引言

同杆多回线具有节约土地, 节省走廊面积, 提高输送容量, 降低输电建设成本等特点, 因此已被广泛用于高压输电线路^[1-6]。而 T 型输电线路又是同杆多回线线路中的一种, 其接线方式简单, 并且占用的输电走廊用地少, 但其输电功率大, 负荷重, 线路一旦发生故障, 有可能造成大面积停电, 给工农业生产造成不可估计的经济损失。因此, 对于该 T 型线路进行快速、准确的故障定位非常重要。目

前, 国内外对于同杆多回线故障定位的研究方法主要有单端法、双端法。对于单端法, 文献[7]提出一种基于行波固有频率的同杆双回线路单端故障测距方法, 虽然该方法能达到测量要求, 但其测距精度仍然受过渡电阻或对端系统阻抗影响。对于双端法, 文献[8]提出基于历史故障波形的行波测距装置检验方法, 虽然该方法也能较准确检验行波测距装置的运行状态, 也不存在过渡电阻和对侧系统阻抗影响的问题, 但必须借助通信技术获取对侧的数据信息, 存在两端数据的同步问题。而对于 T 型线路的故障定位的研究, 国内外主要集中在由同杆双回线与单回线构成的 T 型线路及同杆双回线与

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51177066; 51377104)

双回线构成的 T 型输电线路^[9-14], 对于由同杆四回线构成的 T 型线路的故障定位的研究则基本空白。因此有必要对其进行深入研究。

本文通过深入研究同杆四回线与双回线构成的混合线路特点, 提出了相应的反序正序网络, 然后基于此网络, 利用三端电气量以及综合在故障点正序电压相等的关系得出测距方程, 从而进行故障侧判断和测距。大量的 PSCAD/EMTDC 仿真结果证明了该方案的可行性, 精确性。并且该方案在 T 点附近也能较准确地故障定位且不受过渡电阻以及对侧系统阻抗、故障类型等因素的影响。

1 线路特点研究

由一侧四回线与两侧双回线构成的 T 型输电线路结构图如图 1 所示, 其中左侧四回线部分从上至下依次是 I, II, III, IV, 右侧双回线部分从上至下依次是 I, II, III, IV, 四回线与双回线相交点记作 T, 以 T 为分界点, 从左边母线处到 T 点部分记为 X 侧, 其长度记为 L_x , 从右边上侧母线处到 T 点部分记为 Y 侧, 其长度记为 L_y , 从右边下侧母线处到 T 点部分记为 Z 侧, 其长度为 L_z , 假设该模型为理想模型, 即线路参数都分别对称, 其中四回线部分线路之间的线间阻抗为 Z_x , 相间阻抗为 Z_M , 自阻抗为 Z_s , 且线路单位长度上的正序阻抗记为 Z_1 。双回线部分线路之间的线间阻抗为 Z_{x1} , 相间阻抗为 Z_{M1} , 自阻抗为 Z_{s1} , 且线路单位长度上的正序阻抗为 Z_{11} 。

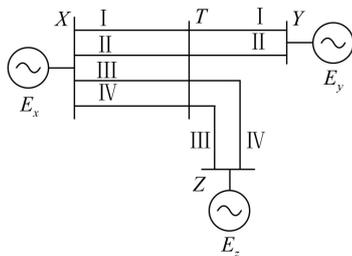


图 1 系统结构图

Fig. 1 System structure

1.1 同杆四回线部分内部故障时线路研究

先假设故障发生在同杆四回线线路内部, 可利用 12 序分量法^[15]进行故障分析, 并且可知: 当同杆四回线内部发生故障时, 会存在反序正序分量 (f_1, g_1, h_1), 而在同杆四回线线路以外, 这些反序分量的系统阻抗都为零, 显然两端反序电压也为零。针对此特点对于此时的反序正序阻抗, Y, Z 侧的双回线部分都是外部元件, 其阻抗值都为零, 从

而可得其反序正序网络图如图 2 所示。

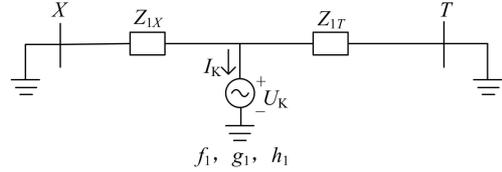


图 2 同杆四回线部分内部故障时反序正序网络图

Fig. 2 Differential sequence positive sequence network when partial inner fault occurred on four-parallel lines on the same tower

由于上述中的反序正序分量均可用于故障测距, 现以 h 序正序网络图为例, 分析如下: 利用反序正序电压在故障点相等关系可得如式(1)测距方程:

$$0 - I_X^{h1} \cdot Z_1 \cdot d_x = 0 - I_T^{h1} \cdot Z_1 \cdot (L_x - d_x) \quad (1)$$

其中: Z_1, L_x 分别是同杆四回线线路的单位正序阻抗和 X 侧距离; I_X^{h1}, I_T^{h1} 分别是同杆四回线部分的左右两边电气量经过 12 序分量法计算得到的 h 序正序电流; d_x 是从 X 侧到故障点间的距离。

1.2 同杆双回线部分内部故障时线路研究

当故障发生在 Y 侧同杆双回线内部时, 可利用六序分量法^[16]进行故障分析, 从而可知, 当同杆双回线内部发生故障时, 会存在反序分量 $F1$, 并且在双回线线路以外, 这些反序分量系统阻抗为零。显然相应的两端反序电压为零。基于此特征分析此时反序各序阻抗, X 侧的四回线部分及 Z 侧双回线部分都是外部元件, 其阻抗值都为零。可得其反序正序网络图如图 3 所示。

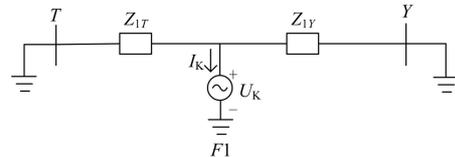


图 3 Y 侧同杆双回线部分内部故障时反序正序网络图

Fig. 3 Differential sequence positive sequence network when partial inner fault occurred on Y side of double-parallel lines on the same tower

由于任何故障类型都含有正序故障分量, 因此取其正序网络图分析得如下: 利用反序正序电压在故障点相等关系可得如式(2)测距方程。

$$0 - I_T^{F1} \cdot Z_{11} \cdot (L_y - d_y) = 0 - I_Y^{F1} \cdot Z_{11} \cdot d_y \quad (2)$$

其中: Z_{11}, L_y 分别是同杆双回线线路的单位正序阻抗和 Y 侧距离; I_T^{F1}, I_Y^{F1} 分别是同杆双回线部分

的两边电气量经六序分量法得到的 F 序正序电流； d_y 是从 Y 侧到故障点间的距离。

同理可得 Z 侧同杆双回线部分内部故障时其反序正序网络图如图 4 所示以及测距方程如式(3)。

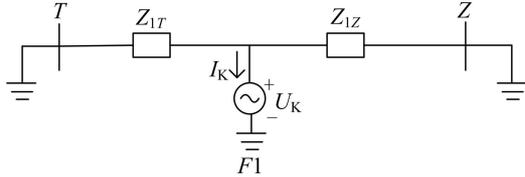


图 4 Z 侧同杆双回线部分内部故障时反序正序网络图

Fig. 4 Differential sequence positive sequence network when partial inner fault occurred on Z side of double-parallel lines on the same tower

测距方程为

$$0 - I_T^{F1} \cdot Z_{11} \cdot (L_z - d_z) = 0 - I_Z^{F1} \cdot Z_{11} \cdot d_z \quad (3)$$

其中： Z_{11} , L_z 分别是同杆双回线线路的单位正序阻抗和 Z 侧距离； I_T^{F1} , I_Z^{F1} 分别是同杆双回线部分的两边电气量经六序分量法得到的 F 序正序电流； d_z 是从 Z 侧到故障点间的距离。

1.3 故障侧判断及测距方法

当故障发生但并不能确定是哪个区域时，可同时求解式(1)~式(3)，得到 d_x , d_y , d_z 。其中非故障支路求解出的解为非正常解，故障支路求解出的解为正常解。通过后续大量的 PSCAD/EMTDC 仿真结果表明：所谓非故障支路求解出的非正常解即指非故障支路求解出的故障距离始终无解（由于非故障支路内部不存在反序正序电流），而故障支路求解出的正常解是指故障支路求解出的故障距离始终大于零，小于该支路的全长（即为有效解）。

根据上述说明，利用 X 、 Y 、 Z 三端电气量，基于上述的三个测距方程(1)~式(3)，当故障发生时，同时去求解这三个测距方程，得到 d_x , d_y , d_z 。

若 $d_x < L_x$ ，则故障侧为 X 侧，且 d_x 为 X 端到故障

点的距离。否则判断 d_y ，若 $d_y < L_y$ ，则故障侧为 Y 侧，且 d_y 为 Y 端到故障点的距离。否则再判断 d_z ，若 $d_z < L_z$ ，则故障侧为 Z 侧，且 d_z 为 Z 端到故障点的距离。否则故障在 T 点。

2 故障测距流程图

综合以上所述，由同杆四回线、同杆双回线构成的 T 型输电线路发生故障时故障测距流程图如图 5 所示。

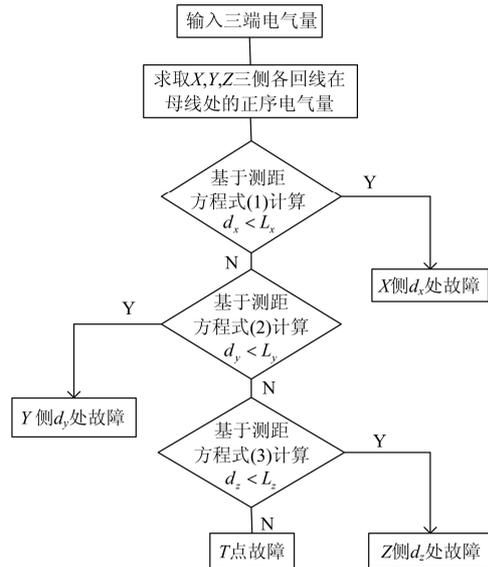


图 5 故障测距流程图

Fig. 5 Flow chart of fault locating

3 PSCAD/EMTDC 仿真验证

3.1 仿真模型

综上所述，该系统模型参数如下：系统电压等级为 330 kV， X 、 Y 、 Z 三侧线路参数如表 1 所示。

表 1 XYZ 三侧线路参数

Table 1 Line parameters of XYZ side

线路侧参数	线路长度/km	系统正序	系统零序	线路单位长度 自阻抗/(Ω/km)	线路单位长度 相间阻抗/(Ω/km)	线路单位长度 线间阻抗/(Ω/km)
		阻抗/Ω	阻抗/Ω			
X 侧参数	100	j25	j40	0.1151+j0.6685	0.08031+j0.2524	0.08031+j0.2524
Y 侧参数	140	j25	j40	0.1229+j0.6635	0.08827+j0.2662	0.08827+j0.2662
Z 侧参数	150	j25	j40	0.1229+j0.6635	0.08827+j0.2662	0.08827+j0.2662

3.2 故障侧判断及测距仿真结果

参数如前所述，基于反序正序网络提出的故障侧判断方法及测距算法在各种故障类型和不同过渡电

阻下的仿真结果如表 2 所示。由于在 T 型同杆多回线线路故障类型中，发生单回线的故障类型概率占 90% 以上，而发生跨线故障概率较低，综合上述及篇幅所

限, 本文只列举部分单回线故障及某些具有代表性 I_A II_B III_C IV_{ABCG} 的跨线故障, 如 I_A II_{AG}、I_B II_{CG}、I_A II_B III_{CG}、

表 2 不同过渡电阻下故障时测距仿真结果

Table 2 Fault locating simulation results with different transition resistances

故障类型	故障位置/ km	过渡电阻/ Ω	$d_x(L_x=100)/\text{km}$	$d_y(L_y=140)/\text{km}$	$d_z(L_z=150)/\text{km}$	故障侧 判断	故障 测距	误差/%
X I _{AG}	20	0.01	20.026 3	NaN	NaN	X	20.026 3	0.009 1
		200	20.016 9	NaN	NaN	X	20.016 9	0.005 8
		500	20.011 2	NaN	NaN	X	20.011 2	0.003 8
	60	0.01	59.989 4	NaN	NaN	X	59.989 4	0.003 6
		200	59.993 9	NaN	NaN	X	59.993 9	0.002 1
		500	59.993 2	NaN	NaN	X	59.993 2	0.002 3
X I _{BCG}	20	0.01	20.026 6	NaN	NaN	X	20.026 6	0.009 1
		200	20.015 3	NaN	NaN	X	20.015 3	0.005 2
		500	20.015 2	NaN	NaN	X	20.015 2	0.005 1
	60	0.01	59.988 1	NaN	NaN	X	59.988 1	0.004 1
		200	59.992 8	NaN	NaN	X	59.992 8	0.002 4
		500	59.990 2	NaN	NaN	X	59.990 2	0.003 4
X I _{ABCG}	20	0.01	20.025 1	NaN	NaN	X	20.025 1	0.008 6
		200	20.035 8	NaN	NaN	X	20.035 8	0.012 3
		500	20.046 0	NaN	NaN	X	20.046 0	0.015 8
	60	0.01	59.981 3	NaN	NaN	X	59.981 3	0.006 4
		200	59.993 3	NaN	NaN	X	59.993 3	0.002 3
		500	59.993 1	NaN	NaN	X	59.993 1	0.002 3
X I _{A II AG}	20	0.01	20.026 5	NaN	NaN	X	20.026 5	0.009 1
		200	20.035 4	NaN	NaN	X	20.035 4	0.012 2
		500	20.045 5	NaN	NaN	X	20.045 5	0.015 6
	60	0.01	59.990 5	NaN	NaN	X	59.990 5	0.003 2
		200	59.980 9	NaN	NaN	X	59.980 9	0.006 5
		500	59.972 5	NaN	NaN	X	59.972 5	0.009 4
X I _{B II CG}	20	0.01	20.016 0	NaN	NaN	X	20.016 0	0.005 5
		200	20.026 1	NaN	NaN	X	20.026 1	0.009 0
		500	20.026 5	NaN	NaN	X	20.026 5	0.009 1
	60	0.01	59.990 7	NaN	NaN	X	59.990 7	0.003 2
		200	59.981 3	NaN	NaN	X	59.981 3	0.006 5
		500	59.975 2	NaN	NaN	X	59.975 2	0.008 6
X I _{A II B III CG}	20	0.01	20.026 5	NaN	NaN	X	20.026 5	0.009 1
		200	20.018 9	NaN	NaN	X	20.018 9	0.006 5
		500	20.011 7	NaN	NaN	X	20.011 7	0.004 1
	60	0.01	59.970 3	NaN	NaN	X	59.970 3	0.010 2
		200	59.981 4	NaN	NaN	X	59.981 4	0.006 4
		500	59.993 4	NaN	NaN	X	59.993 4	0.002 2
X I _{A II B III C IV ABCG}	20	0.01	20.015 9	NaN	NaN	X	20.015 9	0.005 4
		200	20.026 9	NaN	NaN	X	20.026 9	0.009 2
		500	20.037 1	NaN	NaN	X	20.037 1	0.012 7
	60	0.01	59.986 9	NaN	NaN	X	59.986 9	0.004 5
		200	59.991 1	NaN	NaN	X	59.991 1	0.003 1
		500	59.990 9	NaN	NaN	X	59.990 9	0.003 2

续表 2

故障类型	故障位置/ km	过渡电阻/ Ω	$d_x(L_x=100)/\text{km}$	$d_y(L_y=140)/\text{km}$	$d_z(L_z=150)/\text{km}$	故障侧 判断	故障 测距	误差/%
$Y I_{AG}$	30	0.01	NaN	30.058 1	NaN	Y	30.058 1	0.020 1
		200	NaN	30.066 1	NaN	Y	30.066 1	0.022 7
		500	NaN	30.075 7	NaN	Y	30.075 7	0.026 1
	80	0.01	NaN	79.993 2	NaN	Y	79.993 2	0.002 4
		200	NaN	79.987 4	NaN	Y	79.987 4	0.004 4
		500	NaN	79.977 9	NaN	Y	79.977 9	0.007 7
$Y I_{BCG}$	30	0.01	NaN	30.057 3	NaN	Y	30.057 3	0.019 7
		200	NaN	30.065 9	NaN	Y	30.065 9	0.022 8
		500	NaN	30.065 0	NaN	Y	30.065 0	0.022 3
	80	0.01	NaN	79.985 6	NaN	Y	79.985 6	0.005 0
		200	NaN	79.990 4	NaN	Y	79.990 4	0.003 3
		500	NaN	79.989 8	NaN	Y	79.989 8	0.003 6
$Y I_{ABCG}$	30	0.01	NaN	30.055 6	NaN	Y	30.055 6	0.019 1
		200	NaN	30.047 9	NaN	Y	30.047 9	0.016 5
		500	NaN	30.039 4	NaN	Y	30.039 4	0.013 5
	80	0.01	NaN	79.991 3	NaN	Y	79.991 3	0.003 0
		200	NaN	79.984 8	NaN	Y	79.984 8	0.005 2
		500	NaN	79.978 0	NaN	Y	79.978 0	0.007 6
$Y I_{A II AG}$	30	0.01	NaN	30.053 6	NaN	Y	30.053 6	0.018 4
		200	NaN	30.045 9	NaN	Y	30.045 9	0.015 7
		500	NaN	30.040 6	NaN	Y	30.040 6	0.014 1
	80	0.01	NaN	79.975 5	NaN	Y	79.975 5	0.008 4
		200	NaN	79.986 5	NaN	Y	79.986 5	0.004 7
		500	NaN	79.997 6	NaN	Y	79.997 6	0.000 9
$Z III_{AG}$	70	0.01	NaN	NaN	69.998 9	Z	69.998 9	0.000 4
		200	NaN	NaN	69.985 6	Z	69.985 6	0.004 9
		500	NaN	NaN	69.976 6	Z	69.976 6	0.008 1
	100	0.01	NaN	NaN	99.994 3	Z	99.994 3	0.001 9
		200	NaN	NaN	99.986 1	Z	99.986 1	0.004 8
		500	NaN	NaN	99.975 9	Z	99.975 9	0.008 3
$Z III_{BCG}$	70	0.01	NaN	NaN	69.995 8	Z	69.995 8	0.001 5
		200	NaN	NaN	69.987 3	Z	69.987 3	0.004 4
		500	NaN	NaN	69.977 2	Z	69.977 2	0.007 9
	100	0.01	NaN	NaN	99.989 4	Z	99.989 4	0.003 7
		200	NaN	NaN	99.997 6	Z	99.997 6	0.000 9
		500	NaN	NaN	99.989 7	Z	99.989 7	0.003 6
$Z III_{ABCG}$	70	0.01	NaN	NaN	69.993 5	Z	69.993 5	0.002 2
		200	NaN	NaN	69.986 8	Z	69.986 8	0.004 6
		500	NaN	NaN	69.976 7	Z	69.976 7	0.008 1
	100	0.01	NaN	NaN	99.974 4	Z	99.974 4	0.008 8
		200	NaN	NaN	99.985 8	Z	99.985 8	0.004 9
		500	NaN	NaN	99.993 1	Z	99.993 1	0.002 3
$Z III_{A IV AG}$	70	0.01	NaN	NaN	69.985 8	Z	69.985 8	0.004 9
		200	NaN	NaN	69.993 9	Z	69.993 9	0.002 1
		500	NaN	NaN	69.985 7	Z	69.985 7	0.004 9
	100	0.01	NaN	NaN	99.976 1	Z	99.976 1	0.008 2
		200	NaN	NaN	99.985 9	Z	99.985 9	0.004 8
		500	NaN	NaN	99.996 2	Z	99.996 2	0.001 3

仿真结果表明:无论是单回线单相故障,多相故障,还是多回线跨线故障等不同类型故障,均能说明该算法的正确性且能满足测距要求,以及过渡电阻的增大对测距结果没有显著的影响。

3.3 在 T 点附近的故障测距仿真情况

为进一步完善本文提出的算法并排除在 T 点附

近故障时可能会发生的误判,此外,再综合在 T 型同杆多回线路故障类型中发生单回线故障类型的概率较高,因此本文假设当故障发生在 T 点附近且经高过渡电阻(300 Ω)单相接地(I_{AG})时,其仿真结果如表 3 所示。

表 3 在 T 点附近经高阻(I_{AG})故障时测距仿真结果

Table 3 Fault locating simulation results with high transition resistances for the near T

故障侧	故障位置/km	$d_x(L_x=100)/\text{km}$	$d_y(L_y=140)/\text{km}$	$d_z(L_z=150)/\text{km}$	故障侧判断	故障测距/km	误差/%
X	96	96.011 9	NaN	NaN	X	96.011 9	0.004 1
Y	136	NaN	135.977 4	NaN	Y	135.977 4	0.007 8
Z	146	NaN	NaN	145.948 8	Z	145.948 8	0.017 7
T	-	NaN	NaN	NaN	T	-	-

表 3 表明,由于本文是基于反序正序电流进行测距的,而反序正序电流测距因无论发生任何故障类型,该反序正序电流都存在,从而致使它具有很高的测距精度。因此,即使故障发生在 T 点附近,本算法也能够适应且能够准确判断;只有当故障无限接近 T 点时,才可能对测距结果产生影响,但测距的最终结果就是找故障点,因此这也不会影响工作人员排除故障的时间。此外,这种情况在实际运行中发生的概率也很小。

4 结论

本文通过深入研究同杆四回线与同杆双回线构成的 T 型输电线路特点,提出了相应的反序正序网络,在此基础上,综合反序正序电流,再利用由故障支路端点推算到故障点的反序正序电压与由 T 点推算到故障点的反序正序电压相等的关系得出测距方程,从而求解出故障点位置。根据只有在真正发生故障支路上求解出的解才是正常解,基于此进而实现故障侧判断及故障测距。本文特点:由于该算法是利用反序正序电流进行故障测距的,因此测距精度高,且因全文都是基于反序正序网络研究的,而反序正序网络其系统阻抗为零,因此该方法不受系统阻抗影响。大量的 PSCAD/EMTDC 仿真结果表明,本文提出的故障侧判断及故障测距算法正确及精度高,并且在 T 点附近也能准确故障定位且不受故障类型,过渡电阻等因素影响。

参考文献

[1] 李博通,李永丽,陈莉,等.同塔四回线参数解耦及故障分析方法[J].电力系统保护与控制,2010,38(19):1-9.

LI Bo-tong, LI Yong-li, CHEN Li, et al. Method for parameter decoupling and fault analysis of four-circuit transmission lines on the same tower[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(19): 1-9.

[2] 徐敏,蔡泽祥,刘永浩,等.基于宽频信息的高压直流输电线路行波故障测距方法[J].电工技术学报,2013,28(1):260-266.

XU Min, CAI Ze-xiang, LIU Yong-hao, et al. A novel fault location method for HVDC transmission line based on the broadband travelling wave information[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(1): 260-266.

[3] ZHANG Qing-chao, ZHANG Yao, SONG Wen-nan, et al. Transmission line fault location for phase-to-earth fault using one-terminal data[J]. IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, 1999, 146(2): 121-124.

[4] 王伟,余锐,陈愚,等.特高压输电线路保护故障测距的应用研究[J].电力系统保护与控制,2013,41(19):41-47.

WANG Wei, YU Rui, CHEN Yu, et al. Application research of fault location of UHV transmission line protection[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(19): 41-47.

[5] 成乐祥,李扬,唐瑜.基于改进形态 Haar 小波在输电线路故障测距中的应用研究[J].电力系统保护与控制,2010,38(6):30-34.

CHENG Le-xiang, LI Yang, TANG Yu. Research and application of improved morphological Haar wavelet in transmission line fault location[J]. Power System

- Protection and Control, 2010, 38(6): 30-34.
- [6] 王敏, 王磊, 陈平. 基于行波原理的 10 kV 电缆单环网故障测距研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(6): 39-43.
WANG Min, WANG Lei, CHEN Ping. Research on fault location of 10 kV single ring cable feeder based on traveling wave principle[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(6): 39-43.
- [7] 李小鹏, 何正友, 夏璐璐. 同杆双回输电线路的固有频率测距算法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(12): 47-51.
LI Xiao-peng, HE Zheng-you, XIA Lu-lu. Natural frequencies based fault location algorithm for parallel transmission lines on the same tower[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(12): 47-51.
- [8] 钱海, 贾松江, 李治兵, 等. 基于历史故障波形的行波测距装置检验方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(16): 139-143.
QIAN Hai, JIA Song-jiang, LI Zhi-bing, et al. Inspection of traveling wave fault location equipment based on the historical fault waveforms[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(16): 139-143.
- [9] 李传兵, 谭博学, 高鹏, 等. 基于 D 型行波原理的 T 接线故障测距方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(18): 78-82.
LI Chuan-bing, TAN Bo-xue, GAO Peng, et al. A fault location method for T-connection lines based on D-type traveling wave theory[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(18): 78-82.
- [10] 周鑫, 吕飞鹏, 吴飞, 等. 基于小波变换的 T 型线路故障测距新算法[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(2): 8-11.
ZHOU Xin, Lü Fei-peng, WU Fei, et al. A new fault location method for T-connection transmission lines based on wavelet transform[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(2): 8-11.
- [11] 徐鹏, 王刚, 李海峰, 等. 基于环流量的同杆四回输电线路故障选线[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 38(19): 78-83.
XU Peng, WANG Gang, LI Hai-feng, et al. Fault line selection for four parallel lines on the same tower based on circulation currents[J]. Power System Protection and Control, 2011, 38(19): 78-83.
- [12] 姚亮, 陈福峰, 陈琦. 一种应用于 T 接线路的自适应故障测距方法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(3): 26-30.
YAO Liang, CHEN Fu-feng, CHEN Qi. An adaptive method of fault location for T transmission line[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(3): 26-30.
- [13] 卢毅, 韩志昆, 汪焱春, 等. T 型输电线路行波故障测距的改进算法[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(5): 17-21.
LU Yi, HAN Zhi-kun, WANG Yi-chun, et al. Improved fault location algorithm based on traveling waves for teed-circuits[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(5): 17-21.
- [14] 束洪春, 司大军, 葛耀中, 等. T 型输电线路电弧故障测距时域方法研究[J]. 电工技术学报, 2002, 17(4): 99-103.
SHU Hong-chun, SI Da-jun, GE Yao-zhong, et al. A new time domain method for location faults on T-connection to three terminal transmission lines[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2002, 17(4): 99-103.
- [15] 田羽, 范春菊, 龚振东. 同杆 4 回线 12 序分量法[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(21): 35-39.
TIAN Yu, FAN Chun-ju, GONG Zhen-dong. A study on twelve-sequence component method of four-parallel lines on the same towers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(21): 35-39.
- [16] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.

收稿日期: 2013-10-28; 修回日期: 2013-12-26

作者简介:

于仲安(1973-), 男, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事电力系统分析、计算机监控技术及应用的研究工作;

程明钊(1988-), 男, 通信作者, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护与控制; E-mail: 15679745640@163.com

郭培育(1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护与控制。