



研究与开发

## 考虑系统运行方式的配电网分支线断线故障精确定位方法

徐飞, 邓言振, 刘宏辉, 汪辉, 赵海洋  
(国网安徽省电力有限公司, 安徽 合肥 230061)

**摘 要:** 配电网分支线断线故障定位过程中, 由于故障干扰分支节点识别方法的差异, 难以确认断线发生范围, 不同采样率下的故障定位结果相对误差较大。因此, 提出考虑系统运行方式的配电网分支线断线故障精确定位方法。根据配电网的拓扑结构, 分析供电系统内行波传输路径。基于供电系统运行方式, 构建配电网分支节点连通矩阵, 识别受到断线故障干扰的分支节点, 确定断线发生范围, 结合断线故障的特征参数, 判断故障发生区段, 结合零模和线模行波传播时间差, 获取故障测距, 实现配电网分支线断线故障精确定位。实例分析结果表明: 获取精度较高的行波信号波形后, 不同采样率下的故障定位结果相对误差降低了48%、12%。

**关键词:** 系统运行方式; 配电网; 断线故障; 精确定位; 受扰设备; 行波

**中图分类号:** TM72

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.2024032

## Accurate location method of branch line break fault in distribution network considering system operation mode

XU Fei, DENG Yanzhen, LIU Honghui, WANG Hui, ZHAO Haiyang  
State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Hefei 230061, China

**Abstract:** In the process of locating faults caused by branch line breaks in distribution networks, it is difficult to determine the range of wire breakage due to differences in fault interference branch node identification methods. The relative error of fault location results under different sampling rates is relatively large. Therefore, a accurate location method for branch line break faults in distribution networks considering system operation mode was proposed. The traveling wave transmission path within the power supply system was analyzed based on the topology of the distribution network. A connection matrix for branch nodes was constructed in the distribution network based on the operating mode of the power supply system. Identify the branch nodes affected by wire breakage faults and determine the scope of wire breakage occurrence. Determine the fault occurrence interval based on the characteristic parameters of wire breakage faults. By combining the time difference between zero mode traveling wave and line mode traveling wave, fault location can be obtained, achieving precise positioning of branch line

breakage faults in distribution networks. The example analysis results show that after obtaining a high-precision traveling wave signal waveform, the relative error of fault localization results at different sampling rates is reduced by 48% and 12%.

**Key words:** system operation mode, distribution network, break fault, accurate location, disturbed equipment, traveling wave

## 0 引言

配电网运行的可靠性与人们生活具有极为密切的联系,当断线等故障问题出现后,故障点定位速度的提升,有利于降低故障处理时间,快速恢复故障线路,从而降低停电产生的损失。配电网整体结构由多个分支线路组成,具有较高的复杂性。如何在众多线路中查找故障点,成为提高电网运行可靠性的核心<sup>[1]</sup>。

当前有很多常用的故障定位方法,却难以满足配电网分支线断线故障定位的精确性要求。文献[2]基于遗传算法,设计一种故障定位方法,针对短路、断线等多种故障,建立对应的数学模型,应用故障模型生成适应度函数,依托于遗传算法识别故障参数,实现故障定位,但该方法推广难度较大。文献[3]设计了故障定位方法,考虑复杂故障问题,利用微型同步相量测量装置( $\mu$ PMU)将供电系统划分为多个子监测区域,在搜索算法的作用下,将可疑区域提取出来。结合基于不平衡电流分量幅值比较的故障定位算法,判断具体的故障地点,但是,该方法的故障判断结果不够准确。文献[4]在系统内添加多个终端装置,反馈电压稳态信息,分析了断线故障特征带来的影响后,提出以电压特征为核心的断线故障识别技术,但是,该方法的灵敏度较差。配电网内多种设备均按照一定方式进行连接,一旦出现分支线断线问题,就会造成与之相连的设备失效,针对上述运行特点,识别故障受扰设备,本文针对上述方法的不足之处,提出考虑系统运行方式的配电网分支线断线故障精确定位方法。

## 1 考虑系统运行方式的配电网分支线断线故障精确定位方法设计

### 1.1 构建配电系统行波传输路径

在配电系统中,如果发生分支线上的断线故障,需要定位故障发生的具体位置以便进行修复。为了解决这一问题,本文基于电力配电网中各线路的连接关系,针对配电网络的拓扑结构构建了行波传输路径,并通过研究行波在分支线路上的传播特性进行了分析和计算,以确定断线故障位置与预设位置之间的距离变化规律。

在配电网的多个分支线路中,主线上包含数量较多的分支节点,而分支线路上也存在少量分支节点,配电网拓扑结构如图1所示。

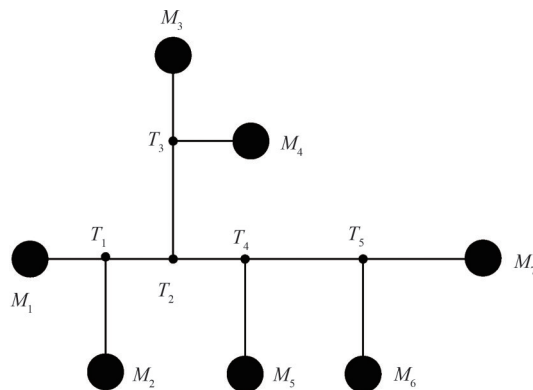


图1 配电网拓扑结构

图1中, $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ 、 $M_4$ 、 $M_5$ 、 $M_6$ 、 $M_7$ 表示配电网线路的末端, $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 表示电网主干线与分支线路之间的分支节点, $T_3$ 表示分支线与子分支线相连的分支节点。针对配电网分支线断线故障进行研究时,在文中提取出某一单分支配电线路,形成图2所示的单分支配电线路。

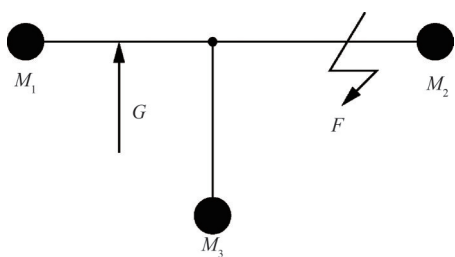


图2 单分支配电线路

在每一条分支线路末端安装行波采集仪器，配电网正常运转情况下，行波会从线路任意位置向末端传输，随机选取位置到线路末端的距离表示为<sup>[5-6]</sup>：

$$\begin{cases} d_{M_1G} = d_{M_1T} - d_{GT} \\ d_{M_2G} = d_{M_2T} + d_{GT} \\ d_{M_3G} = d_{M_3T} + d_{GT} \end{cases} \quad (1)$$

其中， $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ 表示3个线路负荷端点， $d$ 表示配电网支路长度， $G$ 表示预设位置， $T$ 表示线路分支节点。假设断线故障发生在 $F$ 分支线路上后，该线路负荷端点与故障点之间的距离为：

$$\begin{cases} d_{M_1F} = d_{M_1T} + d_{FT} \\ d_{M_2F} = d_{M_2T} + d_{FT} \\ d_{M_3F} = d_{M_3T} + d_{FT} \end{cases} \quad (2)$$

结合每个配电网分支线末端，建立矩阵 $\mathbf{c}$ ：

$$\mathbf{c} = \begin{bmatrix} 0 & d_{M_2M_1F} - d_{M_2M_1G} & d_{M_3M_1F} - d_{M_3M_1G} \\ d_{M_1M_2F} - d_{M_1M_2G} & 0 & d_{M_3M_2F} - d_{M_3M_2G} \\ d_{M_1M_3F} - d_{M_1M_3G} & d_{M_2M_3G} - d_{M_2M_3F} & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

以式(1)~式(3)为基础，分析预设位置与故障点在不同情形下，矩阵的变化情况。当二者处于完全重合状态时，矩阵表示为<sup>[7-8]</sup>：

$$\mathbf{c} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

预设位置和故障点位于相同分支线路，但是二者之间存在一定距离时，矩阵表示为：

$$\mathbf{c} = \begin{bmatrix} 0 & 2d_{FT} - 2d_{GT} & 2d_{FT} - 2d_{GT} \\ 2d_{GT} - 2d_{FT} & 0 & 0 \\ 2d_{GT} - 2d_{FT} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中， $d_{GT}$ 表示预设位置与分支节点之间的距离。最后，当预设位置和故障点位于不同支路时，可得出：

$$\mathbf{c} = \begin{bmatrix} 0 & -2(d_{GT} + d_{FT}) & -2d_{GT} \\ 2(d_{GT} + d_{FT}) & 0 & 2d_{FT} \\ 2d_{GT} & -2d_{FT} & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

通过式(4)~式(6)可知，断线故障位置与预设位置之间距离的改变，会引起矩阵元素特征发生变化，经过上述分析，得到实现故障距离的初步分析结果。

## 1.2 识别系统运行故障干扰分支节点

依据获得的断线故障位置与预设位置之间距

离的初步结果，分析供电系统的拓扑结构和连通性，进一步识别系统运行故障干扰的分支节点，实现对故障区域和受扰分支节点的准确定位。

将整个配电网看作一个网络结构，对结构中每一个分支节点支路进行编号处理，针对供电网络运行状态，生成关联矩阵。将系统运行过程中，线路连接状态矢量表示为<sup>[9]</sup>：

$$\boldsymbol{\vartheta} = [1 \quad 1 \quad 0 \quad 1] \quad (7)$$

其中， $\boldsymbol{\vartheta}$ 表示配电线路连接状态矢量。当供电系统内所有线路均处于连接状态时，生成原始关联矩阵 $\mathbf{A}_0$ 。针对原始关联矩阵内每一行元素与线路连接状态矢量进行运算，获取当前运行方式关联矩阵 $\mathbf{A}$ 。

$$\mathbf{A}_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

考虑供电系统的正常运行，需要数个分支节点与支路共同作用。为了分析供电系统中多个分支节点之间的连通特点，并找出受扰分支节点，建立分支节点之间的连通矩阵，再结合起到连通作用的配电网分支线路，基于布尔矩阵乘法运算，得出：

$$f = A \cdot B \quad (9)$$

其中,  $f$  表示配电网连通矩阵,  $A$  表示供电网络分支节点与供电系统分支线路之间的关联矩阵,  $B$  表示供电系统分支线路与供电网络分支节点之间的关联矩阵,  $\cdot$  表示布尔乘法运算。具体运算过程为<sup>[10]</sup>:

$$f_{ij} = \cup(a_i \cap a_j) \quad (10)$$

其中,  $i$  表示供电系统分支节点,  $j$  表示供电系统支路,  $a$  表示矩阵元素,  $\cup$  表示或运算符号,  $\cap$  表示与运算符号。通过式 (10) 的计算, 明确配电网分支节点之间的连通性, 形成 1 级连通矩阵。之后, 按照连通矩阵的对称性, 将 1 级矩阵升级为 2 级。经过数次迭代计算, 提取出多个分支节点之间的连通特点, 当迭代计算结果保持固定状态时, 输出该运行方式下最终连通矩阵。在断线故障受扰分支节点识别过程中, 按照连通矩阵获取与发生断线故障区域相连接的分支节点, 将其判定为受扰分支节点。  $Z=[z_i]$  表示受扰分支节点矢量数据,  $z_i=1$  表示分支节点受到断线故障干扰,  $z_i=0$  表示分支节点不受影响。则受扰分支节点的具体求取过程为:

$$z_i = \left( \bigcup_{s=1}^P f_{is} \right) \cap \left( \bigcup_{g=1}^P f_{ig} \right) \quad (11)$$

其中,  $z$  表示受扰分支节点矢量元素,  $P$  表示受到干扰的分支节点数量,  $s$  表示受到干扰的分支节点编号,  $g$  表示正常工作的分支节点编号。通过上述操作, 完成断线干扰设备识别, 明确系统运行故障干扰的分支节点。

### 1.3 判定配电网分支线故障区段

根据断线特征参数的变化, 进一步在第 1.2 节确定的受扰分支节点中判断断线故障区段, 即确定具体出现断线现象的区段。当配电网中分支线断线现象出现后, 该线路内正序电流大幅降低, 同时负序和零序会反比例增长, 将其作为故障判据, 对故障发生区域进行异常信息识别。

通过比较相邻周期的零序电流采样点的变化

率判断零序电流的变化趋势, 进而获得零序电流采样比值序列, 零序电流采样比值为:

$$x_n = \frac{|x_0(n)|}{|x_0(n-N)|} \quad (12)$$

其中,  $x$  表示零序电流周期同比值,  $x_0$  表示电流采样比值,  $n$  表示采样点序列,  $N$  表示周期内的采样点数。当断线故障发生后, 式 (12) 的计算结果会大于 1, 因此将断线故障启动判据设置为<sup>[11]</sup>:

$$\begin{cases} x \geq \alpha \\ \sum_{n=N/2}^{n+N/2} x \geq K\alpha N/2 \end{cases} \quad (13)$$

其中,  $\alpha$  表示零序电流梯度阈值,  $K$  表示累加系数。受到负荷波动的影响, 上述断线故障启动判据式 (13) 在实际应用中出现误判的概率较高。为了保证故障定位结果的准确性, 本文对上述检测规则进行改进。断线故障启动判据的改进核心环节是设置零序电流整定值, 躲避配电网分支线路中出现的零序电流最大值。

利用线路中最大相电流, 与可靠系数相乘, 获取零序电流整定值。根据经验和实践, 当断线故障出现后, 零序电流相比故障前提升了 1.5 倍以上。添加额外检测判据, 以排除断线故障判定过程中干扰信息。断线故障发生后, 空载线路中电流不会发生变化, 造成判据失效。基于上述特征, 利用空载线路建立配电网线路断线故障判定的辅助判据<sup>[12-13]</sup>:

$$B \leq \varepsilon \quad (14)$$

其中,  $B$  表示配电网分支线路电压值,  $\varepsilon$  表示最接近 0 的电压值。在断线故障区段检测过程中, 对配电网所有分支线进行遍历, 当配电网分支线满足任何一个判据后, 将区段判断为断线故障发生区段。

### 1.4 实现断线故障精确定位

通过行波信号的测距方法, 实现断线故障发生区段中的断线故障精确定位。利用行波信号检测装置获取行波信号波头到达时刻, 并解耦处理



三相线路, 计算断线故障位置与行波信号测量点之间的距离。调整线模行波传输速度和零模行波传输速度以降低误差, 实现更精确的故障定位。

采用配电网内行波信号检测装置, 获取行波信号波头到达时刻, 得到高精度断线故障测距, 行波传输效果如图3所示。

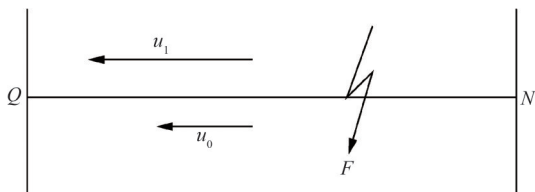


图3 行波传输效果

在测距计算之前, 对三相线路进行解耦处理。因为零模传播和线模传播的速度并不一样, 所以二者所传播的行波信号到达同一个测量点的时间存在较大区别。基于断电故障引起的行波信号变化, 通过测量行波信号的传播时间计算断线故障的距离, 断线故障测距结果为:

$$\begin{cases} s = v_0 t_0 \\ s = v_1 t_1 \\ \Delta t = t_0 - t_1 \end{cases} \quad (15)$$

其中,  $s$  表示故障发生位置与行波信号测量点间距,  $v_1$  表示线模行波传输速度,  $v_0$  表示零模行波传输速度,  $t_0$  表示零模行波传输时间,  $t_1$  表示线模行波传输时间,  $\Delta t$  表示二者之间的时间差。基于式 (15), 得到算法的原理性误差  $e$ :

$$e = \frac{v_1 v_0 T}{v_1 - v_0} \quad (16)$$

其中,  $T$  表示采样周期。线模与零模的行波传输速度越接近, 一个采样间隔内的误差越会成倍放大, 相比常规的行波测距方法, 本文提出的断线故障精确定位方法可以根据实际应用环境, 实现线模和零模波速度的调整, 实现故障定位误差的降低。

## 2 实例分析

本文提出的配电网分支线断线故障精确定位

方法设计完成后, 为了验证该方法的可靠性, 进行实例测试。

### 2.1 分析对象与环境

以某地区 10 kV 配电网为例, 选取了较小的算例进行了分析测试, 该配电网具有  $N$  个采样点数对应的分支, 将额定容量设置为 400 kVA, 配电线路电阻和感抗分别设置为  $0.12 \Omega/\text{km}$ 、 $0.07 \Omega/\text{km}$ 。为了便于后续定位测试顺利, 利用多个断路器建立故障模块, 配电线路内, 断线故障由断路器之间开关状态转换进行模拟, 简化配电网仿真模型如图4所示。

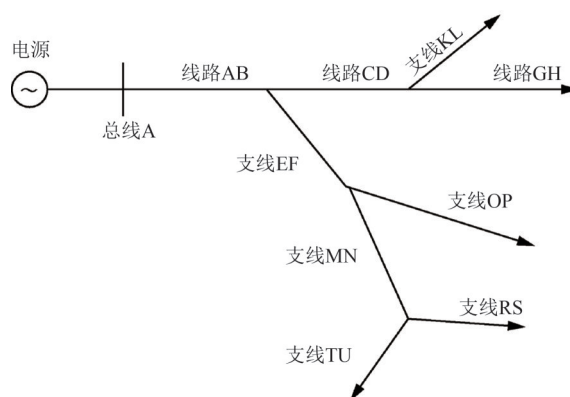


图4 简化配电网仿真模型

根据本文提出的精确定位方法, 在分支节点 A 处安装行波测量装置 (赛创 SC-DLJC200, 工作电压为 220 V, 功率为 10 W, 检测距离为 0~20 km, 采样频率为 100 MHz, 故障定位误差  $\leq 4$  m, 时间同步信号误差为 10 ns) 和故障指示器 (铭瑶 EKL-4, 测量范围为 1 200 A), 实现电流高频特征的迅速提取, 模型内的各线路长度见表 1。

表1 各线路长度

| 线路 | 长度/km | 线路 | 长度/km |
|----|-------|----|-------|
| AB | 35    | MN | 24    |
| CD | 18    | OP | 19    |
| EF | 27    | RS | 25    |
| GH | 30    | TU | 35    |
| KL | 32    | —  | —     |



利用上述模型,应用本文设计的断线故障精确定位方法展开后续实验。

## 2.2 故障精确定位

按照供电系统的运行方式,结合本文提出的受扰设备识别方法可知,线路TU与线路RS均属于失效状态,可以确定配电网内分支线路MN区段,出现断线故障问题。在此基础上,进一步结合行波测距结果,确定高精度故障定位结果。确定故障发生区段后,通过配电网内行波测量装置,获取行波信号的暂态信息。根据线模、零模初始波头到达测量点的时间,利用微分算法计算故障距离。为了保证故障定位结果的准确性,需要在计算之前对暂态行波信号进行滤波处理,生成如图5所示的滤波前后暂态电流行波信号。

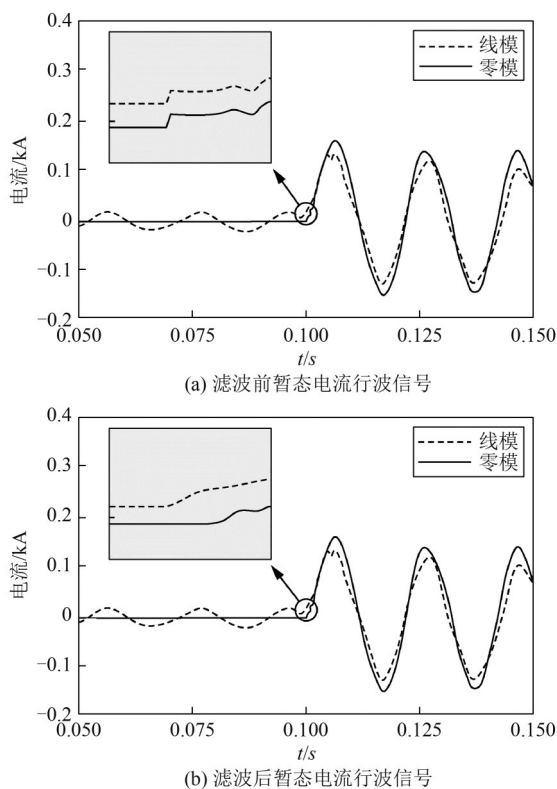


图5 滤波前后暂态电流行波信号

根据图5所示的暂态行波信号对比可知,零模和线模原始行波信号极为相似,直接进行求导得出的测距结果误差较大。在滤波处理后,二者

之间表现出较大的差别,再通过求导获取精度较高的行波信号波形,波形如图6所示。

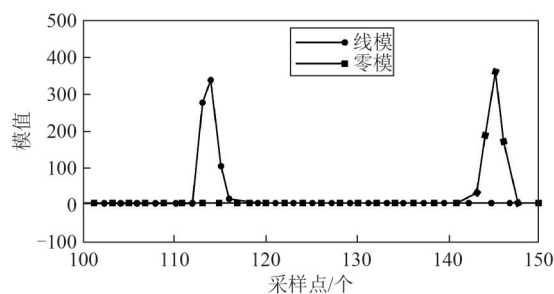


图6 精度较高的行波信号波形

通过图6可知,在断线故障位置后的第114个采样点,获取线模行波波头。在第145个采样点提取出零模行波波头,根据两种行波的初始波头到达时刻之间的差值,利用式(15)计算得出故障距离,从而明确配电网分支线断线故障的具体位置。

## 2.3 方法性能对比

为了充分体现文中提出定位方法的有效性,在仿真模型中应用文献[2-3]提出的故障定位方法进行测试,对比3种故障测距结果,明确本文设计方法的优越性。通过记录可知,不同采样率下的故障定位结果如图7所示。

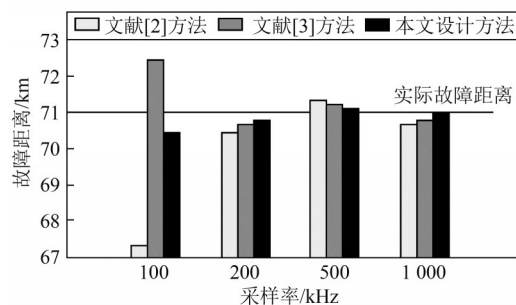


图7 不同采样率下的故障定位结果

根据图7可知,随着采样率的不断提升,3种定位方法的精度均有所提升,而本文提出方法是3种故障定位结果中最接近实际故障距离的。为了更好地计算故障定位误差,本文应用式(17)进行计算。



$$\lambda = \frac{|y-w|}{w} \quad (17)$$

其中,  $\lambda$  表示定位相对误差,  $y$  表示故障定位距离,  $w$  表示实际故障距离。基于式 (17) 的计算结果可知, 文献[2]方法在采样率达到 1 000 kHz 时, 故障定位相对误差为 0.6, 相比 100 kHz 条件下相对误差平均值 5.31, 精度提高了 8 倍左右。文献[3]方法在 1 000 kHz 采样率时, 故障定位相对误差为 0.24, 精度提升了 9 倍左右。而本文提出方法的故障定位相对误差从 1.3 降低至 0.12, 使得故障定位精度提升了 10 倍以上。综上所述, 本文所提方法的故障定位相对误差, 相比两篇文献提出的故障定位方法, 相对误差降低了 48%、12%, 在不同采样率条件下都展现出更高的故障定位精度, 在普遍性上具有一定的优势。

### 3 结束语

配电网自动化发展过程中, 故障定位处理水平的提升是必要环节之一。考虑供电网络中包含多种复杂线路, 难以准确定位故障发生位置, 本文针对故障精确定位方法进行研究, 基于供电系统运行方式, 识别故障受扰设备, 结合配电网断线故障特征参数, 明确故障发生区段, 并采用波速度差精确定位故障所属位置, 使得定位结果相对误差大大降低, 提高了故障定位的精度和可靠性。

本文提出的方法使得故障定位精度得到改善, 未来计划将研究重点放在数据采集传输误差消除上, 进一步改进故障定位方法。

### 参考文献:

- [1] 王开科, 熊小伏, 肖扬, 等. 基于负序电流的主动配电网单相断线故障保护方法[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(6): 10-18.  
WANG K K, XIONG X F, XIAO Y, et al. Single-phase break fault protection method for an active distribution network based on negative sequence current[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(6): 10-18.
- [2] 徐岩, 刘婧妍, 张诗杭, 等. 基于遗传算法的直流配电网线路故障定位方法[J]. 太阳能学报, 2020, 41(12): 1-8.

- XU Y, LIU J Y, ZHANG S H, et al. Fault location method based on genetic algorithm for dc distribution network[J]. Acta Energiac Solaris Sinica, 2020, 41(12): 1-8.
- [3] 张健磊, 高湛军, 陈明, 等. 考虑复故障的有源配电网故障定位方法[J]. 电工技术学报, 2021, 36(11): 2265-2276.  
ZHANG J L, GAO Z J, CHEN M, et al. Fault location method for active distribution networks considering combination faults[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2021, 36(11): 2265-2276.
- [4] 刘健, 张志华, 王毅钊. 基于电压信息的配电网断线故障定位[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(21): 123-131.  
LIU J, ZHANG Z H, WANG Y Z. Voltage information based line-broken fault location for distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(21): 123-131.
- [5] 王雪菲, 李京, 陈平, 等. 基于行波波形综合相似度比较的电缆故障选线[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(1): 51-59.  
WANG X F, LI J, CHEN P, et al. Cable fault line selection based on comprehensive similarity comparison of traveling wave waveforms[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(1): 51-59.
- [6] 蔡阳, 唐丹红, 陈佳俊, 等. 基于故障预测的树结构电网最小代价修复问题及相应算法[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2022(5): 208-218.  
CAI Y, TANG D H, CHEN J J, et al. Tree structure grid minimal cost repair problem and its corresponding algorithm based on fault prediction[J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2022(5): 208-218.
- [7] 苗人杰, 刘玉林, 张利, 等. 基于多代理系统的含 DG 辐射状配电网故障定位[J]. 电网与清洁能源, 2021, 37(1): 8-15.  
MIAO R J, LIU Y L, ZHANG L, et al. A fault location algorithm in radial distribution networks with distributed generators based on multi-agent technology[J]. Power System and Clean Energy, 2021, 37(1): 8-15.
- [8] 夏翊翔, 李泽文, 雷柳, 等. 基于动态虚拟故障的行波网络定位新方法[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(14): 4868-4878.  
XIA Y X, LI Z W, LEI L, et al. A new method of traveling wave network location based on dynamic virtual fault[J]. Proceedings of the CSEE, 2021, 41(14): 4868-4878.
- [9] 宋亮亮, 杨毅, 范栋琛, 等. 基于改进学习矢量量化神经网络输电线路故障识别技术[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(2): 583-590.  
SONG L L, YANG Y, FAN D C, et al. Based on improvement learning vector quantization neural network transmission line fault identification technology[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(2): 583-590.
- [10] 赵宇虹, 李忠诚, 闵应骅. 带时间参数布尔函数的符号表示及其在计算电路时间延迟中的应用[J]. 计算机学报, 1997, 20(10):

908-917.

ZHAO Y H, LI Z C, MIN Y H. Symbolic representation of timed Boolean functions and its application to circuit delay computation[J]. Chinese Journal of Computers, 1997, 20(10): 908-917.

- [11] 陈军, 隋佳闽, 赵子涵, 等. 输电线路断线故障保护逻辑分析及附加判别方法[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(4): 103-111.

CHEN J, SUI J M, ZHAO Z H, et al. Protection logic analysis and additional judgment method of a transmission line break fault[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(4): 103-111.

- [12] 孙荣智, 王承力, 王子驰, 等. 多分支低压电网的故障区段自动定位技术研究[J]. 微型电脑应用, 2022, 38(6): 57-59, 64.

SUN R Z, WANG C L, WANG Z C, et al. Research on automatic location technology of fault section in multi-branch low-voltage power grid[J]. Microcomputer Applications, 2022, 38(6): 57-59, 64.

- [13] 胡亚娟, 曹志, 朱绍杰, 等. 基于Petri网的故障区段定位与故障模式辨识方法[J]. 智慧电力, 2019, 47(8): 63-68, 75.

HU Y J, CAO Z, ZHU S J, et al. Fault section location and fault mode identification method based on petri nets[J]. Smart Power, 2019, 47(8): 63-68, 75.

#### [作者简介]



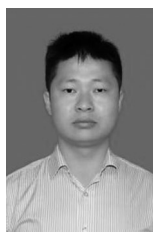
徐飞 (1985-), 男, 国网安徽省电力有限公司高级工程师, 主要研究方向为电网规划、建设、运检等。



邓言振 (1991-), 男, 国网安徽省电力有限公司工程师, 主要研究方向为电网规划、前期、运检等。



刘宏辉 (1991-), 男, 国网安徽省电力有限公司工程师, 主要研究方向为电网建设、运检、规划等。



汪辉 (1989-), 男, 国网安徽省电力有限公司工程师, 主要研究方向为电网规划、建设、运检等。



赵海洋 (1991-), 男, 国网安徽省电力有限公司工程师, 主要研究方向为电网规划、建设、运检等。