基于暂态零序电流的含光伏电源配电网单相故障定位方法*

韩　笑，夏寅宇，丁煜飞，齐沛锋，汪缪凡
(南京工程学院 电力工程学院,江苏 南京　211167)

摘　要：针对分布式光伏电源接入配电网使得传统配电网继电保护存在可靠性、灵敏性降低的问题,提出了一种考虑母线多分支情况下应用偏度系数来衡量暂态零序电流极性的分布式故障定位方法。分析了分布式电源接入的配电网发生单相接地故障时零序电流的分布特征,发现故障时刻故障区段两端暂态零序电流极性相同,非故障区段两端暂态零序电流极性相反,引入偏度系数来衡量暂态零序电流的极性,实现分布式故障定位。仿真结果表明,该方法能够适用于含分布式光伏电源配电网的故障定位,且在不同的故障条件下具有较强的适用性。

关键词：光伏电源；有源配电网；暂态零序电流；偏度系数
中图分类号：TM773　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1673-6540(2022)09-0081-07
doi：10.12177/emca.2022.096

Single-Phase Fault Location Method of Photovoltaic Power Distribution Network Based on Transient Zero-Sequence Current*

HAN Xiao, *XIA Yinyu*, *DING Yufei*, *QI Peifeng*, *WANG Miaofan*
(School of Electric Power Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: The connection of distributed photovoltaic power to distribution network may cause the decrease of the reliability and sensitivity of traditional distribution network relay protection. To solve this problem, a distributed fault location method based on skewness coefficient is proposed to measure the polarity of transient zero-sequence current considering the multi-branch bus. The distribution characteristics of zero-sequence current when single-phase grounding fault occurs in the distribution network connected with distributed generation are analyzed. Thus, the characteristics of the same polarity of transient zero-sequence current at both ends of the fault section at fault time and the opposite polarity of transient zero-sequence current at both ends of the non-fault section are further obtained. The skewness coefficient is introduced to measure the polarity of transient zero-sequence current and realize the distributed fault location. The simulation results show that the method can be applied to the fault location of distribution network with distributed photovoltaic power supply, and has strong applicability under different fault conditions.

Key words: **photovoltaic power supply**; **active distribution network**; **transient zero-sequence current**; **skewness coefficient**

收稿日期：2022-05-09；收到修改稿日期：2022-08-21
* 基金项目：江苏省研究生科研与实践科技创新计划项目(SJCX21_0944)
作者简介：韩　笑(1969—),男,硕士,教授,研究方向为电力系统继电保护。
夏寅宇(1998—),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护。

0 引　言

分布式电源接入配电网,使得配电网网络拓扑结构、功率流动方向均发生了改变[1];另一方面,分布式电源的接入有可能会使得配电网线路保护的灵敏性受到影响。因此,研究高渗透率下的有源配电网的继电保护具有重要的意义。

目前,国内外学者针对有源配电网故障定位方法进行了大量的研究。稳态量定位方法[2]通过采集故障时的三序电流、电压的幅值、相位等信息来实现故障定位。文献[3-4]分别运用不同的故障时刻故障分量信息,提出了一种基于两端信息的纵联保护方案。稳态量定位方法已经较为成熟,对于永久性故障而言,稳态量定位方法可靠性高,但是在面对间歇性故障或瞬时性故障时,稳态量定位方法可靠性低。

暂态量定位方法则是依据故障时的暂态故障特征信息来实现故障定位[5-10]。文献[5]截取了故障后的 1/4 周期的零序电流进行变分模态分解,计算各条线路的能量相关系数,提出以能量比重为判据的有源配电网故障定位方法。文献[6]则是在文献[5]的基础上,利用变分模态分解算法来获得暂态零序电流的有效分量,采用波峰波谷算法,根据故障区段两端暂态零序电流波形凹凸数相差较大的特性来构造峭度判据,实现故障定位。暂态量定位的方法在永久性、间歇性与瞬时性故障定位时均有着较高的可靠性,可以检测瞬时故障,暂态信息含量丰富,灵敏度高。

本文以含光伏电源(PV)的有源配电网单相故障定位为研究对象。结合暂态量保护信息含量丰富、灵敏度高以及分布式保护适应网络拓扑结构能力强的特点,引入了偏度系数,在考虑了不同故障条件的基础上,提出利用偏度系数的正负值来进行有源配电网单相故障定位的方法。

1 考虑光伏电源接入的接地故障暂态电气量分析

在含光伏的配电网发生单相短路故障时,电力电子器件的过流能力和控制策略会使光伏电源的故障电流受到影响[11],短路电流无法提供持续且稳定的工频分量,电压电流的幅值受限且呈现强非线性。短路故障时的控制策略使端电压的下降呈现一个暂态过程,而稳态的输出电流则与此暂态过程无关,因此在发生短路故障时光伏电源输出的稳态电流中只包含正序分量,在对有源配电网进行暂态零序电流分析时,可以将光伏电源等效为一接地电容,分布式光伏电源接入配电网发生单相故障如图 1 所示。图 1 中,T1 为主变压器,T2 为 Z 型接线的接地变压器,分布式光伏电源以 Y/Δ 的接线方式接入配电网,F_1、F_2、F_3 分别为并网点上游、并网点下游以及非分布式光伏电源接入线路发生故障时的故障点。

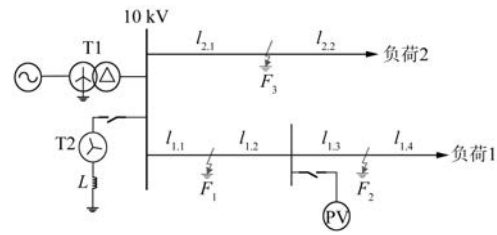

图 1　PV 接入线路中部发生单相接地故障

图 2 所示为有源配电网发生单相故障时的暂态等值电路。当馈线处发生单相接地故障时,流经故障线路的暂态零序电流为暂态电容电流与暂态电感电流的叠加[12]。为了进一步研究发生单相接地故障时,故障点上游以及下游处流经的零序电流暂态特性,将接入的分布式光伏电源等效为接地电容 C_{PV},记为 C_i,则 $C_m(m=1,2,\cdots,j)$ 为第 k 个区段的对地电容,流经该区段的电容电流表示为 $i_{C_k}(k=1,2,\cdots,i,\cdots,m)$,$C_{\mathrm{h}}$ 为未发生故障线路对地电容之和,则有源配电网对地电容之和 $C_{\sum}=C_{\mathrm{h}}+\sum_{k=1}^{m}C_k$。$L$ 为消弧线圈等值电感,$L_{\mathrm{c}}=3L$,u_{L} 为等值电感两端的电压,R 表示 3 倍的过渡电阻,$u_0=U\sin(\omega t+\theta)$ 为故障点处的附加电源,i_{L} 为流经消弧线圈的零序电流,ω 为角速度,i_{f} 为流经故障点的零序电流。

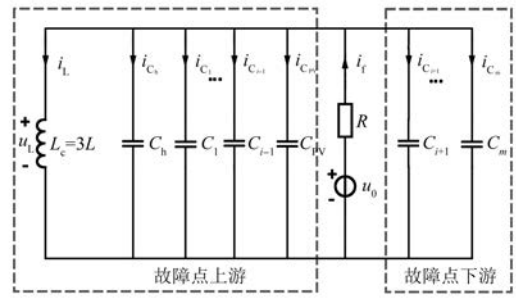

图 2　暂态等值电路

暂态时可以认为是 L_c 与 C_Σ 的并联谐振[13]，列微分方程为

$$\begin{cases} u_0 = R\left(C_\Sigma \dfrac{\mathrm{d}u_0}{\mathrm{d}t} + i_\mathrm{L}\right) + u_\mathrm{L} \\ u_\mathrm{L} = L_c \dfrac{\mathrm{d}i_\mathrm{L}}{\mathrm{d}t} \end{cases} \tag{1}$$

求得特征根为

$$\begin{cases} p_1 = -\dfrac{1}{2RC_\Sigma} - \sqrt{\left(\dfrac{1}{2RC_\Sigma}\right)^2 - \dfrac{1}{L_cC_\Sigma}} \\ p_2 = -\dfrac{1}{2RC_\Sigma} + \sqrt{\left(\dfrac{1}{2RC_\Sigma}\right)^2 - \dfrac{1}{L_cC_\Sigma}} \end{cases} \tag{2}$$

解得：

$$i_\mathrm{L} = B\sin(\omega t + \psi) + A_1 \mathrm{e}^{p_1 t} + A_2 \mathrm{e}^{p_2 t} \tag{3}$$

其中，$B = \dfrac{U}{|Z|}\dfrac{1}{1-\omega^2 L_c C_\Sigma}$，$Z = R + \dfrac{\mathrm{j}\omega L_c}{1-\omega^2 L_c C_\Sigma}$；

$\psi = \theta - \arctan\dfrac{\omega L_c}{R(1-\omega^2 L_c C_\Sigma)}$；

$A_1 = \dfrac{\omega B\cos\psi - p_2 B\sin\psi}{p_2 - p_1}$；

$A_2 = -\dfrac{\omega B\cos\psi - p_1 B\sin\psi}{p_2 - p_1}$。

第 k 个区段的对地电容电流为

$$i_{C_k} = -\omega^2 L_c C_k B\sin(\omega t + \psi) + L_c C_k (A_1 p_1^2 \mathrm{e}^{p_1 t} + A_2 p_2^2 \mathrm{e}^{p_2 t}) \tag{4}$$

由式(4)可以解得流经故障点的暂态零序电流为

$$i_\mathrm{f} = (1-\omega^2 L_c C_\Sigma) B\sin(\omega t + \psi) - \frac{L_c p_1 A_1}{R}\mathrm{e}^{p_1 t} - \frac{L_c p_2 A_2}{R}\mathrm{e}^{p_2 t} \tag{5}$$

与传统配电网相比，光伏电源的接入将改变整定电容电流的大小，但是不会改变首端线路暂态零序电流分布特征。故障点下游 k 处的暂态零序电流为

$$i_\mathrm{down} = \sum_{k=i+1}^{m} i_{C_k} = -\omega^2 L_c \sum_{k=i+1}^{m} C_k B\sin(\omega t + \psi) + L_c \sum_{k=i+1}^{m} C_k (A_1 p_1^2 \mathrm{e}^{p_1 t} + A_2 p_2^2 \mathrm{e}^{p_2 t}) \tag{6}$$

故障点上游 k 处的暂态零序电流为

$$i_\mathrm{up} = -i_\mathrm{f} + \sum_{k=i}^{m} i_{C_k} = (\omega^2 L_c C_\Sigma - \omega^2 L_c \sum_{k=i}^{m} C_k - 1) B\sin(\omega t + \psi) + \left(\frac{L_c p_1 A_1}{R} + L_c \sum_{k=1}^{m} C_k A_1 p_1^2\right)\mathrm{e}^{p_1 t} + \left(\frac{L_c p_2 A_2}{R} + L_c \sum_{k=i}^{m} C_k A_2 p_2^2\right) \tag{7}$$

流经故障点上下游的暂态零序电流为振荡衰减分量与工频分量的叠加，如图 3 所示。从图 3 中可以看出，发生故障时的振荡分量较大且具有高频振荡衰减的特点。

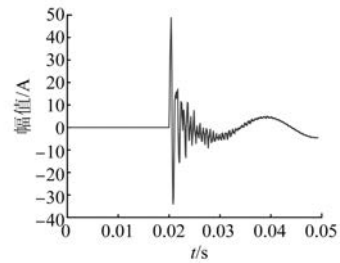

图 3　暂态零序电流图

2　暂态零序电流的偏度系数

上文对含光伏配电网发生单相接地故障时暂态电气量进行了分析。在将光伏电源等效为电容进行分析时，光伏电源对零序电流的影响只存在于幅值部分，零序电流的相位部分基本不受影响。

PV 接入配电网系统，基于无线通信的馈线终端单元(FTU)用于采集暂态零序电流，以母线指向线路的方向为正方向，则非故障区段两端的暂态零序电流极性相反，故障区段两端的暂态零序电流极性相同，且暂态量的瞬时值大，呈现高频振荡衰减的特性。常用的用于分析暂态电气量信号的方法有暂态能量、矢分数阶傅里叶变换、S 变换等。

本文考虑用偏度系数[14-16]来衡量，偏度作为统计学中的一种方法，用于统计一组数据的分布偏斜方向与程度，是衡量统计数据分布非对称程度的度量。在定义上，偏度系数为

$$SK = \frac{\sum_{i=1}^{n} (M_j - \bar{x})^3 f_i}{n s^3} \tag{8}$$

式中：M_j 为电流采样值；f_i 为采样电流的函数；n 为采样次数；s 为标准差。

偏度的计算为三阶中心距与三阶标准差的比值。当数据的分布为对称情况时,此时数据满足正态分布,认为此时的偏度系数为 0;若偏度系数>0,不对称曲线在平均数的右侧形成重尾,称数据满足正偏,拥有正的偏度;若偏度系数<0,不对称曲线在平均数的左侧形成重尾,此时数据拥有负的偏度。将其引入电力系统的计算中,可以得到偏度系数为

$$SK=\frac{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(i_j-\bar{i})^3}{\frac{1}{n^2}\left[\sum_{j=1}^{n}(i_j-\bar{i})\right]^3} \tag{9}$$

式中:i_j 为第 j 次采样得到的暂态零序电流瞬时值;$\bar{i}$ 为所有暂态零序电流采样值的平均值。

故障暂态过程持续时间受到线路参数、过渡电阻的影响,为了尽可能多地保留故障暂态信息,同时又要保证采样段内的暂态零序电流分量呈现高频振荡衰减的特性,采样总持续时间取 4 个工频周期,即 0.08 s。观察图 3 可以发现,当采样时间增大时,采样信号的平均值将会向着正半波侧倾斜。当正半波存在幅值最大的情况,故障发生的瞬间,暂态零序电流的幅值大于平均值,前半个采样周期采集的信号必将大于整个采样周期的平均值,而后半个采样周期采集的信号波动幅值将明显小于前半个采样周期的信号,式(9)的分母为正值;负半波的采样值与平均值差的模值大于正半波的采样值与平均值差的模值,对式(9)的分子展开可以很容易得到分子的值会逐渐向负值一侧靠近且最终成为负值,因此偏度系数为负值。故障区段两端的暂态零序电流极性相同,存在幅值最大的半波情况相同,两端的偏度特性相同,即两端的偏度系数的乘积>0;非故障区段两端的暂态零序电流极性相反,一端正偏,一端反偏,即两端的偏度系数乘积<0。由此,可借助暂态零序电流偏度特性的不同实现故障定位。暂态零序电流的偏度分布如图 4 所示。

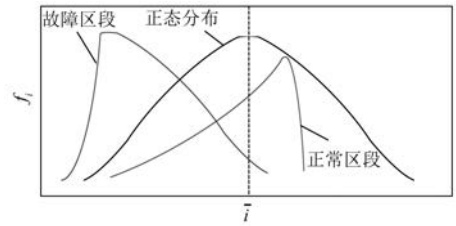

图 4　暂态零序电流偏度分布图

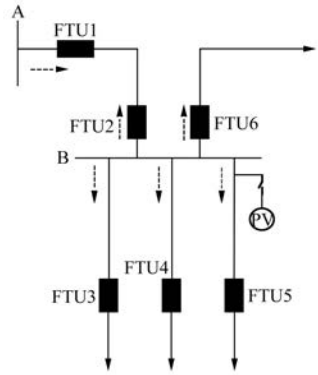

图 5　PV 接入的配电网系统

3　基于暂态零序电流偏度系数的故障定位方法

本文以图 5 为例来进行故障定位原理的说明。规定由母线指向线路为正方向,图 4 中虚线箭头的指向即为规定的正方向,各 FTU 实时采集零序电流并且进行偏度系数的计算。

馈线两端的 FTU 之间通过无线网络相互通信,实时地进行偏度系数的比较,如母线 A 与母线 B 之间的馈线 FTU1 与 FTU2;与母线邻接的各 FTU 进行相互之间的通信,以同一母线上靠近主电源的 FTU 为主 FTU,距主电源较远的为副 FTU,共同进行偏度系数的比较,如与母线 B 相邻接 FTU2 ~ FTU6,形成一个通信的闭环,其中主 FTU 为 FTU2,副 FTU 为 FTU6。

图 6 为基于暂态零序电流偏度系数的故障定位流程,起动量采用零序电压,当变电站送出母线的零序电压大于零序电压整定值时,起动故障定位。

(1) 馈线区段定位。设母线 A 与母线 B 之间的馈线区段发生单相接地故障,位于该馈线两端的 FTU1 与 FTU2 先进行比较,若馈线两端的 FTU 实时计算的偏度系数乘积>0,则可以判断该区段发生了故障。

(2) 故障选线。设装有 FTU3 的线路 L3 发生了单相接地故障,此时先进行 FTU1 与 FTU2 的偏度系数的比较,实时计算的偏度系数乘积<0;

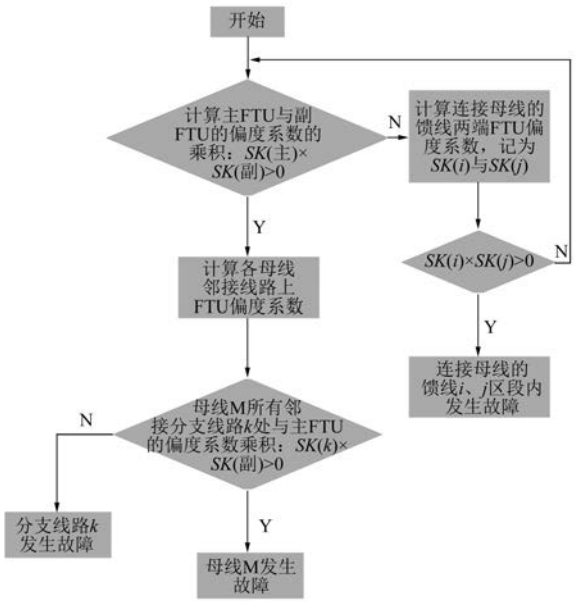

图 6　故障定位流程

待所有馈线区段线路两端的偏度系数比较完后，若全为负值，则继续进行母线各邻接 FTU 之间的偏度系数的比较。此时若 FTU2 与 FTU6 之间的偏度系数的乘积>0，则继续 FTU3、FTU4、FTU5 与主 FTU 之间的偏度系数比较，若 FTU3 与 FTU2 的偏度系数的乘积<0，而 FTU4、FTU5 与 FTU2 的偏度系数乘积均>0，则可以判断装有 FTU3 的线路发生了单相接地故障。

（3）母线故障定位。若在（2）中 FTU2～FTU6 两两之间的偏度系数乘积均>0，则可以判断为母线故障。

4　算例分析

在 PSCAD 仿真软件中搭建如图 7 所示 10 kV 有源配电网模型进行仿真，模型设有 4 条母线，9 条馈线，线路的阻抗采用 π 模型，参数如表 1 所示；接入的分布式光伏电源容量为 1 MW，在馈线 L_3 处以 Y/Δ 的方式并入配电网，L_1～L_9 馈线末端接少量负荷，参数如表 2 所示，消弧电感 L 为 0.318 5 H；同时该段仿真线路设有 16 处 FTU，用于检测配电网线路的运行状态，在 MATLAB 中进行各 FTU 偏度系数的计算，验证仿真结果。

本节考虑过渡电阻、故障点位置、故障合闸角以及噪声干扰的影响，通过改变过渡电阻的大小、故障点位置、故障合闸角大小以及加入高斯噪声，探讨本文所提的故障定位方法的可靠性与灵敏性。

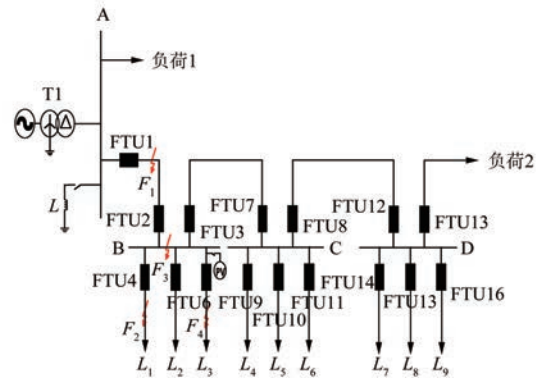

图 7　含光伏配电网仿真模型

表 1　配电网线路阻抗参数

序分量	单位电阻/（$\times10^{-4}$ Ω·m^{-1}）	单位电感/（$\times10^{-4}$ Ω·m^{-1}）	单位电容/（MΩ·m）
正序	0.791 0	0.830 0	8.538 0
零序	2.273 3	2.910 0	19.185 0

表 2　配电网线路参数

线路名称	长度/km	负荷/MW
L_1	4.0	1
L_2	4.5	10
L_3	3.0	5
L_4	4.0	10
L_5	4.5	10
L_6	3.0	5
L_7	4.0	10
L_8	4.5	10
L_9	3.0	5

4.1　过渡电阻

通过改变单相接地故障时过渡电阻的大小，分析所提故障定位方法在金属性接地与高阻接地情况下的可靠性与灵敏性。分布式光伏电源并网后额定运行，仿真时间总长为 0.3 s，假设 0.1 s 时在 L_1 线路的 2 km 处发生了单相接地故障，即 F_2 处，改变过渡电阻的大小，得到的仿真结果如表 3 所示。

从表 3 可以看出，通过改变过渡电阻的大小，本文所提的故障定位方法可以准确进行选线。以过渡电阻 10 Ω 为例，当 F_2 处发生单相接地故障

时,主 FTU2 与副 FTU6 进行偏度系数的比较,两者的乘积>0,继续向下搜索,B 母线上的所有邻接 FTU 与主 FTU2 进行比较,其中 FTU4 与主 FTU2 的偏度系数乘积<0,FTU3、FTU5 与主 FTU2 的偏度系数乘积>0,判断装有 FTU4 的线路,即线路 L_1 为故障线路,不再继续向下搜索。

表 3　过渡电阻不同时故障定位仿真结果

过渡电阻/Ω	FTU 偏度系数						定位结果
	FTU1	FTU2	FTU3	FTU4	FTU5	FTU6	
1	-77.46	77.46	6.73	-24.96	77.46	77.46	L_1
10	-77.46	77.46	43.81	-63.40	77.46	77.46	L_2
100	-77.46	77.46	67.96	-74.27	77.46	77.46	L_3
900	-77.46	77.46	70.38	-75.13	77.46	77.46	L_4

从仿真结果来看,过渡电阻的变化对故障线路的 FTU 以及远离主电源的副 FTU 的偏度系数的数值影响较大,偏度系数反应的是暂态零序电流的极性特征,虽然过渡电阻使偏度系数的数值发生了较大的变化,但是对数值的正负并没有影响,在故障定位时可有效避免过渡电阻的变化使得保护的灵敏性失效。

4.2　故障点位置

通过改变单相接地故障点的位置,研究所提故障定位方法在面对不同故障位置时的可靠性。分布式光伏电源并网后额定运行,过渡电阻设为 10 Ω,仿真总时长为 0.3 s,假设 0.1 s 时发生单相接地故障,改变故障点位置,得到的仿真结果如表 4 所示。

表 4　故障点位置不同时故障定位仿真结果

故障位置	FTU 偏度系数						定位结果
	FTU1	FTU2	FTU3	FTU4	FTU5	FTU6	
F_1	-77.46	-71.62	65.33	77.46	77.45	77.46	A~B
F_2	-77.46	77.46	43.81	-63.40	77.46	77.46	L_1
F_3	-77.46	77.46	65.34	77.46	77.45	77.46	B
F_4	-77.46	77.46	56.05	77.46	77.46	-69.58	L_3

从表 4 可以看出,无论是在何种故障位置,本文所提的故障定位方法均能可靠地进行故障定位,适用范围较广,具有高灵敏性。故障点位置的改变对故障线路的 FTU 与副 FTU 偏度系数的数值影响较大,在定位判别时拥有较大的裕度,能准确区分正常区段与故障区段。

4.3　故障合闸角

在 PSCAD 软件中通过改变故障发生的时间来模拟不同的故障合闸角,研究所提故障定位方法在面对不同故障合闸角时的可靠性。分布式光伏电源并网后额定运行,仿真时间总长为 0.3 s,过渡电阻为 10 Ω,假设 F_2 处发生单相接地故障,改变故障发生的时间,得到的仿真结果如表 5 所示。

表 5　故障合闸角不同时故障定位仿真结果

合闸角/(°)	FTU 偏度系数						定位结果
	FTU1	FTU2	FTU3	FTU4	FTU5	FTU6	
0	-77.46	77.46	43.81	-63.40	77.46	77.46	L_1
45	32.00	-32.00	-0.79	0.68	-35.06	-37.74	L_1
90	56.51	-56.51	-4.54	13.93	-58.50	-56.40	L_1
135	56.40	-56.40	-27.93	41.25	-58.38	-56.28	L_1
180	77.47	-77.47	-56.39	69.16	-77.47	-77.47	L_1
225	-32.00	32.00	0.58	-0.49	35.06	37.74	L_1
270	-56.51	56.51	3.96	-12.73	58.50	56.40	L_1
315	-56.40	56.40	26.37	-40.00	58.38	56.28	L_1

从仿真结果可以看出,本文所提方法在面对不同故障合闸角时,受影响最大的仍然是故障线路的 FTU 与副 FTU 的偏度系数,但仍然能够正确可靠地进行判别。

4.4　噪声干扰

为了模拟实际电网中存在的一系列干扰引起的电流原始信号畸变,在 MATLAB 中采用高斯噪声对暂态零序电流信号进行处理,信噪比为 50 dB,分布式光伏电源并网后额定运行,过渡电阻为 10 Ω,仿真时间总长为 0.3 s,0.1 s 时发生单相接地故障,改变故障点位置,得到的仿真结果如表 6 所示。

表 6　信噪比为 50 dB 时故障定位仿真结果

故障位置	FTU 偏度系数						定位结果
	FTU1	FTU2	FTU3	FTU4	FTU5	FTU6	
F_1	-77.98	-74.71	71.86	77.47	78.22	77.46	A~B
F_2	-77.71	77.43	57.84	-69.85	77.01	77.46	L_1
F_3	-77.85	77.23	71.87	77.44	77.12	77.47	B
F_4	-77.72	77.08	71.84	77.53	77.09	-75.43	L_3

从表 6 中可以看出,噪声的加入会使各 FTU 的偏度系数受到影响,但影响最大的还是故障线

路的 FTU 与副 FTU,且在此干扰下,本文所提方法仍然有效。

5 结　语

(1) 本文所提的基于暂态零序电流偏度特性的故障定位方法较好地解决了含光伏电源配电网的故障定位问题,经过仿真验证,此方法的可靠性与灵敏性较高。

(2) 所提的新型配电网故障定位方法为分布式的故障定位方案,可适用于多种复杂的网络拓扑结构,且定位方法的数字计算量较小,不需要复杂的整定计算,对高渗透率配电网故障定位具有一定的意义。

【参 考 文 献】

[1] 肖繁,夏勇军,张侃君,等.含新能源接入的配电网网络化保护原理研究[J]. 电工技术报,2019,34(增 2): 709.

[2] 王智. 中压配电网分布式故障选线与区段定位研究[D]. 济南:山东大学,2021.

[3] 周成瀚. 有源配电网馈线保护与故障自愈技术研究[D]. 济南:山东大学,2020.

[4] GUO X, WANG L, SUN L, et al. A novel current differential protection scheme for active distribution networks[C]//2020 IEEE 3rd Student Conference on Electrical Machines and Systems (SCEMS),2020.

[5] 李卫国,许文文,王旭光. 基于 VMD 能量比重的有源配电网故障选线方法[J]. 东北电力大学学报,2019,39(5): 23.

[6] 李卫国,许文文,乔振宇,等. 基于暂态零序电流凹凸特征的配电网故障区段定位方法[J]. 电力系统保护与控制,2020,48(10): 164.

[7] 郭小定,刘伟,肖华根,等. 基于经验小波分析的小电流接地系统单相接地故障选线方法[J]. 电测与仪表,2019,56(24): 73.

[8] 潘贞存,张慧芬,张帆,等. 信号注入式接地选线定位保护的分析与改进[J]. 电力系统自动化,2007(4): 71.

[9] 王林川,李会杰,杜冰,等. 基于 EMD 和注入法结合的谐振接地选线研究[J]. 黑龙江电力,2012,34(2): 85.

[10] 索南加乐,李宗朋,王莉,等. 基于频域参数识别方法的配电网单相接地故障选线[J]. 电力系统自动化,2012,36(23): 93.

[11] 张润坤. 含分布式光伏电源的配电网继电保护研究[D]. 南京:南京理工大学,2017.

[12] 要焕年,曹梅月. 电力系统谐振接地[M]. 北京:中国电力出版社,2000.

[13] 陈筱蒿,薛永端,王超,等. 基于同步量测的谐振接地系统高阻接地故障区段暂态定位[J]. 电力系统自动化,2016,40(22): 93.

[14] 胡松,江亚群,黄纯. 基于偏度系数的变压器励磁涌流识别方法[J]. 电网技术,2018,42(6): 1954.

[15] 稂鑫宇. 小电流接地故障的特征提取及定位方法研究[D]. 长沙:湖南大学,2018.

[16] 章溢,龚海林. 偏度系数的近似线性贝叶斯估计[J]. 统计与决策,2017(10): 78.

[主要栏目]

· 控制与应用技术　· 研究与设计　· 故障诊断与保护
· 新能源发电与局域电网　· 新能源汽车技术　· 发电机组及其控制
· 测试技术与测控系统　· 材料与工艺　· 电机生产及质量管理
· 电力电子变流器技术　· 智能制造　· 节能应用
· 实用技术成果

携手节能减排 悠享生活空间

让你我从点滴做起

《电机与控制应用》杂志社宣

《电机与控制应用》征订

《电机与控制应用》是上海电器科学研究所（集团）有限公司主办的中国科技核心期刊。上海电器科学研究所始建于1953年，是多领域、综合性电工产品研究开发机构，上海市高新技术企业。电科所在电工行业内，从技术、检测、标准及人才优势等方面都具有举足轻重的地位，国内外对其关注程度都相当高。

《电机与控制应用》创刊于1959年，是经国家新闻出版总署批准注册，由上海电器科学研究所（集团）有限公司主办的具有专业权威的电工技术类科技期刊。每月10日出版，国内外公开发行，邮发代号4-199。在近半个世纪的岁月中，该杂志为我国中小型电机行业的技术进步与发展做出了巨大的贡献，在中国电机及其应用领域享有很高的影响。

《电机与控制应用》期刊近年还被外国数据库收录，如“JST 日本科学技术振兴机构数据库（日）（2021）”以及“Pж（AJ）文摘杂志（俄）（2020）”，在国际上拥有一定的知名度和影响力。

订阅方式

订报刊，
上中国邮政！

1 **邮局订阅**：具体咨询当地邮局，邮发代号4-199。

2 **网上订刊渠道**：中国邮政网上营业厅（http://www.11185.cn）。

联系方式：

期刊：《电机与控制应用》编辑部　　地　　址：上海市普陀区武宁路505号9号楼6楼 (200063)

电话：021-62574990-574、462　　传　　真：021-32230809

网站：http://www.motor-abc.cn　　电子邮箱：emca@seari.com.cn

扫码关注
《电机与控制应用》
微信公众号