

# 基于贝叶斯定理与膜计算的含分布式电源的配电网故障定位研究

卢杨科 田唐 王自强

成都工业学院 自动化与电气工程学院 四川成都 611730

DOI: 10.12238/j pm.v5i5.6822

**[摘要]** 本文针对传统故障定位方法已无法实现含分布式电源的配电网故障的准确定位问题，提出了一种基于贝叶斯定理和反脉冲神经膜系统的含分布式电源的配电网故障定位方法。其次，应用该方法对单一故障、多重故障、信息不完备故障、信息畸变故障等四种情况下的故障案例进行计算，计算结果表明该故障定位方法能够准确地识别上述四种情况下的故障位置。最后，将该方法与其它两种故障定位方法进行对比，结果证明该方法能够准确定位含分布式电源的配电网故障位置，能有效解决传统方法定位不准确且容错率低的问题，并在一定程度上提升了故障定位速度。

**[关键词]** 分布式电源；故障定位；贝叶斯定理；反脉冲神经膜系统

## A Fault Location Method for Distribution Networks with Distributed Generations Based on Bayesian Theorem and Membrane Computing

Lu Yang-ke Tian Tang Wang Zi-qiang

School of Automation and Electrical Engineering, Chengdu Technological University, Chengdu 611730, China

**[Abstract]** This article proposes a fault localization method for distribution networks with distributed generations based on Bayesian theorem and spiking neural P systems with anti-spikes, which addresses the problem that traditional fault localization methods are no longer able to accurately locate faults in distribution networks with distributed generations. Secondly, this method is applied to calculate fault instances in four scenarios: single fault, multiple faults, incomplete information fault, and distorted information fault. The calculation results indicate that the fault localization method can accurately identify the fault location in the above four situations. Finally, the fault location results of the proposed method are compared with those of the other three algorithms, and the results show that the proposed method can accurately locate faults in distribution networks containing distributed generations. It can effectively solve the problem of inaccurate positioning and low fault tolerance of traditional methods, and to some extent, improve the speed of fault positioning.

**[Key words]** Distributed generation; Fault location; Bayesian theorem; Spiking neural P systems with anti-spikes

引言

分布式电源具有结构简单、灵活性高、供电可靠、高效节能等特点，被广泛应用到建筑物、工业园区、社区等场景中，成为未来电力系统发展的重要趋势和方向。分布式电源的加入，使得现有电力系统拓扑结构发生了很大的变化，供电模式也由原来的单向供电变为双向供电，导致配电网的故障定位问题更加地复杂。因此，需要更加高效且准确的故障定位方法来有效解决含分布式电源的配电网故障定位问题，提高电力系统的可靠性和稳定性。

综上，本文提出了一种改进的故障定位方法。该方法将可进行容错处理的贝叶斯定理与具有强大计算能力的反脉冲神经膜系统相结合，以解决简单或复杂算例的故障定位问题。

1 基于贝叶斯定理与膜计算的故障定位方法

如图1所示为基于贝叶斯定理与膜计算的含分布式电源配

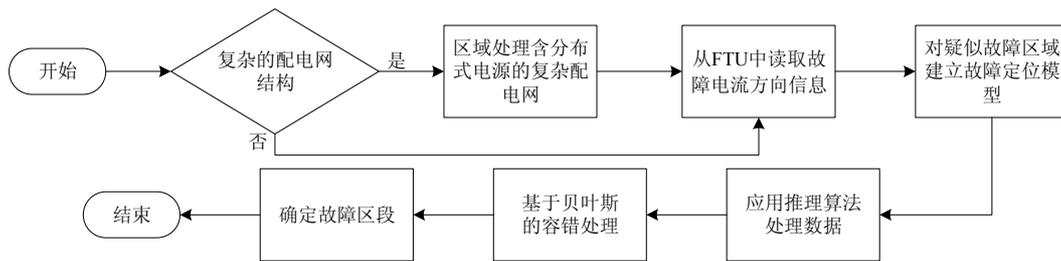


图1 基于贝叶斯定理与膜计算的故障定位方法流程图

2 实例分析及对比

此结构是由1个电力系统和1个分布式电源组成的，其中电力系统用S表示，分布式电源用DG表示。CB<sub>1</sub>~CB<sub>9</sub>是断路器，总数为9个，用长方形方框表示，图中从左至右为系统规定的正方向。

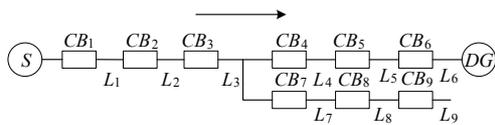


图2 配电网简单结构

(1) 单一故障

假设区段(4)处发生短路故障时，从FTU中读取图中所有断路器的故障电流方向信息，并将其按照标号进行组合得到初始输入值  $\theta = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ 。针对该区域建立基于贝叶斯定理与反脉冲神经膜系统的故障定位模型如图3所示，并根据节点神经元和区域神经元之间的突出连接关系得到关联矩阵K值。

其次，根据公式  $\delta = K \times \theta$  计算出  $\delta = out = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ 。

电网故障定位流程。第一步，对复杂的含分布式电源的配电网进行适当的分区处理，将每一条馈线及其相连接的相关元件看作一个区域，则复杂的配电网被划分为多个简单的区域。第二步，从配电开关监控中端(Feeder Terminal Unit, FTU)系统读取各个分区断路器开关故障电流状况，据此可以大致判断出可能发生故障的区域。第三步，根据故障定位原理建立节点推理规则，并针对可能发生故障的区域搭建出相应的含分布式电源配电网故障定位模型。第四步，依据断路器故障电流方向为节点神经元分配初始值，针对所建立的分区故障定位模型执行推理算法<sup>[1]</sup>。由于模糊真值 1、-1、0 仅代表故障电流方向，故将输出神经元 out 中的模糊真值进行溢出处理，规定大于1或小于-1的模糊真值分别取1和0，如果输出神经元 out 的模糊真值为1，确定该区域发生故障；若为-1或0，认定该区域无故障发生。最后，利用贝叶斯定理对所有故障区段的故障概率进行计算并作差<sup>[2]</sup>，确定出最终故障区段。

根据预先制定的判断规则可以判断出区段(4)处于故障状态，该计算结果与预先设置的故障条件一致，从而验证了该故障定位方法的可行性，该方法能准确、可靠的判断出含分布式电源的配电网的故障位置。

$$K = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(2) 多重故障

假设区段(3)和区段(5)发生故障，该类故障和单一故障的计算过程相似，分别从FTU中读取到CB<sub>1</sub>~CB<sub>9</sub>的故障电流信息方向，通过将FTU中获取的信息按照标号进行组合，可得到计算所需要的 $\theta$ 初始值， $\theta = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ 。由于含分布式电源的配电网拓扑结构没有发生任何变化，因此其故障定位的模型及其关联矩阵K也不会发生变化，其计算结果  $out = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ 。根据预先制定的判断规则可判断

出区段 (3) 和区段 (5) 处于故障状态，表明区段 (3) 和区段 (5) 发生了故障。

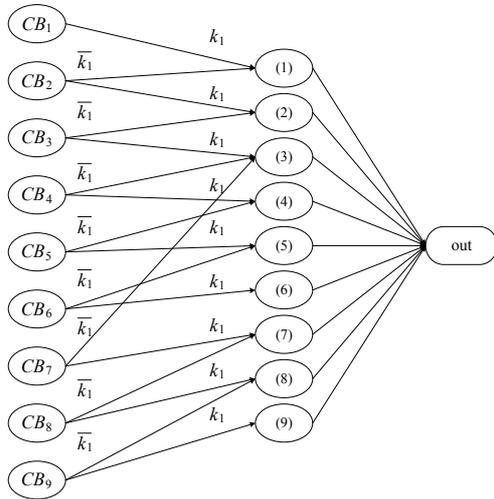


图3 基于贝叶斯定理与膜计算的故障定位建模

(3) 不完整信息

假设区段 (7) 发生短路故障，且在该时刻无法从 FTU 系统中读取到 CB<sub>2</sub> 故障电流正确的方向信息，则不能得到故障电流矩阵，为了计算结果的准确性，将断路器 CB<sub>2</sub> 从图 2 中移除得到一个新的含分布式电源的配电网结构图，如图 4 所示。在计算时仍按照单一故障形式进行计算，通过将 FTU 中获取的信息按照标号进行组合，得到计算所需要的初始值  $\theta = [1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ 。相较于单一故障中的 K 值，该故障的 K 值少了第一行第一列，通过计算得到最终结果  $out = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0]^T$ ，可判断出区段 (3) 和 (7) 处于故障状态。

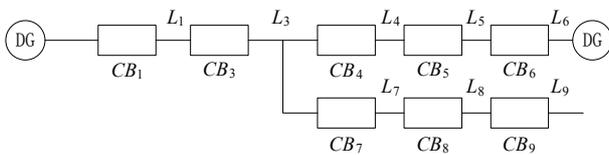


图4 信息丢失的多电源配电网简单结构图

然而，与区段 (7) 相连的断路器节点包括 CB<sub>7</sub> 和 CB<sub>8</sub>，它们各自与区段 (7) 的拓扑关系分别为 1 和 -1，对应的断路器节点电流信息为 1 和 -1，可得区段 (2) 的电流流入流出关系为  $(1 \times 1) + (-1 \times -1) = 2$ 。而与区段 (3) 相连的断路器节点包括 CB<sub>3</sub>、CB<sub>4</sub> 和 CB<sub>7</sub>，它们各自与区段 (3) 的拓扑关系分别为 1、-1、-1，对应的断路器节点电流信息为 1、-1、1，可得区段 (3) 的电流流入流出关系为  $(1 \times 1) + (-1) \times (-1) + 1 \times (-1) = 1$ 。根据故障判定原理，可以确定区段 (3) 中存在故障电流

流出 7 节点，进而排除区段 (3) 发生故障。

(4) 信息畸变

假设区段 (4) 处发生短路故障，且节点断路器 CB<sub>2</sub> 处的 FTU 收集到的故障电流信息发生了信息畸变，导致上传的电流方向信息为错误信息，电流方向信息为 0。计算所需要的初始值  $\theta = [1 \ 0 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ ，由于配电网拓扑结构未发生改变，因此建模及关联矩阵未变，得到计算结果  $out = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ 。最后，利用贝叶斯定理列出公式  $P(\theta | L_i) = P^2(1-P)^7$  和  $P(\theta | L_i) = P^1(1-P)^8$ ，两式作差可得区段 (1) 处的故障概率小于区段 (4) 处的故障概率，排除区段 (1) 故障，得出区段 (4) 故障，满足假设条件。

综上所述，本文所提出的改进的配电网故障定位方法能够处理含分布式电源的四种故障类型，包含单一故障、多重故障、信息不全故障、信息畸变故障。文献[1]所采用的方法只涉及对单一故障、多重故障、信息不全故障进行故障定位。而文献[2]所采用的方法需要对描述节点之间关系式的邻接矩阵进行求逆矩阵处理，相较之下本文所提出方法花费时间较短，可减少故障的处理时间及故障带来的直接经济损失。

3 结论

本文提出了基于贝叶斯定理和反脉冲神经膜系统的配电网故障定位方案，用以解决含分布式电源模式下的配电网故障定位问题。针对一个配电网的简单结构，通过 4 个案例计算验证了本文提出的改进故障定位方法的正确性和可行性。并将改进故障定位方法与其它两种方法进行了比较，说明本文所提出的基于贝叶斯定理和反脉冲神经膜系统的配电网故障定位方案能够准确定位普通情景下与存在畸变信息情景下的故障位置。

[参考文献]

[1]陶成玉. 基于脉冲神经膜系统的电力系统故障识别与故障定位研究[D]. 西华大学, 2018.  
 [2]王巍璋, 王淳, 尹发根. 基于可达矩阵和贝叶斯定理的含分布式电源的配电网故障区段定位[J]. 中国电力, 2021, 54(7): 8.

基金项目：四川省大学生创新创业训练计划项目 (S202311116042)