

基于 FTU 和行波法的配电网接地故障定位技术的研究

周到

威胜信息技术股份有限公司 湖南长沙 410006

摘要: 研究基于 FTU 和行波法的配电网接地故障定位技术。阐述 FTU 和行波法原理, 分析二者结合优势。探讨技术实现关键环节, 如数据采集处理、故障特征提取。研究表明该技术可提升配电网故障定位准确性与效率, 为配电网安全稳定运行提供有力支持。

关键词: FTU; 行波法; 配电网; 接地故障定位

引言: 配电网接地故障定位对供电可靠性至关重要。传统定位方法存在局限性, 难以满足复杂配电网需求。FTU 和行波法各有优势, 将二者结合用于配电网接地故障定位具有重要意义。研究此技术可提高故障定位精度, 保障配电网可靠运行。

1. 配电网接地故障定位概述

1.1 配电网故障特点

配电网的故障具有多种特点。首先, 配电网线路复杂, 包括架空线和电缆混合的情况, 这使得故障发生的可能性增加且故障类型多样。其故障可能源于自然因素, 如雷击, 可能导致线路绝缘被破坏, 从而引发接地故障。其次, 配电网的分支众多, 一个故障可能在多个分支的影响下表现出复杂的电气特征。不同的负载分布也会影响故障时的电流、电压变化。例如, 在重负荷区域和轻负荷区域, 故障时的电气量变化幅度和趋势会有所不同。再者, 配电网中的设备老化、施工不当等人为因素也会造成故障。而且, 配电网的故障往往具有随机性, 难以准确预测其发生的时间和地点, 这给故障定位带来了很大的挑战。

1.2 接地故障危害

接地故障在配电网中会带来诸多危害。从电力供应的角度看, 接地故障可能导致部分线路停电, 影响供电的可靠性。对于用户来说, 可能会造成生产设备停止运行, 给工业用户带来经济损失, 对于居民用户则会影响到正常的生活用电。接地故障还可能引发过电压现象, 这种过电压会对配电网中的电气设备造成损害, 如变压器的绝缘被破坏, 缩短设备的使用寿命。此外, 接地故障可能引发电弧, 电弧具有高温和高能量的特性, 容易引发火灾, 对周围的环境和设施构成严重威胁。而且, 接地故障产生的不平衡电流会对通信线路产生干扰, 影响通信的质量。

2. FTU 技术原理与应用

2.1 FTU 结构组成

FTU (馈线终端单元) 具有较为复杂的结构组成。它主要包括测量模块、控制模块、通信模块和电源模块等部分。测量模块是 FTU 的重要组成部分, 它负责采集配电网中的各种电气量, 如电压、电流、功率等。这个模块通常包含高精度的传感器, 能够准确地测量不同等级的电压和电流信号。控制模块则是 FTU 的核心, 它对测量模块采集到的数据进行处理和分析。控制模块可以根据预设的算法和规则, 判断配电网的运行状态, 如是否发生故障、故障的类型等。通信模块实现了 FTU 与其他设备的信息交互, 它可以采用多种通信方式, 如光纤通信、无线通信等。通过通信模块, FTU 可以将采集到的数据传输到主站, 也可以接收主站的控制指令。电源模块为 FTU 的各个部分提供稳定的电力供应, 它可以采用多种电源方式, 如蓄电池、太阳能电池等, 以确保 FTU 在不同的工作环境下都能正常运行。

2.2 FTU 数据采集功能

FTU 的数据采集功能对于配电网的运行监测和故障定位至关重要。FTU 能够实时采集配电网中的电压、电流等基本电气量。在电压采集方面, 它可以精确测量不同相的电压幅值和相位, 无论是正常运行状态下的额定电压, 还是故障发生时的电压突变都能准确捕捉。对于电流采集, FTU 可以采集到不同支路的电流大小, 并且能够区分故障电流和正常运行电流。除了基本的电压和电流, FTU 还可以采集功率因数、有功功率和无功功率等相关参数。这些数据的采集频率可以根据实际需求进行设置, 较高的采集频率能够更详细地反映配电网的运行状态。例如, 在故障发生瞬间, 高频的数据采集能够记录下故障瞬间电气量的急剧变化, 为后续的故障分析提供丰富的数据支持。而且, FTU 的数据采集是持续进行的, 这使得它能够积累大量的历史数据, 这些数据对于分析配电网的运行规律和故障特征具有重要意义。

2. 3FTU在故障定位中的作用

FTU在配电网接地故障定位中发挥着不可或缺的作用。当配电网发生接地故障时，FTU能够迅速检测到故障引起的电气量变化。由于它实时采集电压、电流等数据，通过对这些数据的分析，可以判断出故障发生的大致区域。例如，如果某一FTU采集到的电流值突然增大，而相邻FTU采集到的电流值变化较小，那么可以初步判断故障位于电流变化较大的FTU附近。FTU还可以将采集到的数据传输给主站，主站根据多个FTU上传的数据进行综合分析，进一步精确确定故障位置。此外，FTU可以与其他设备配合，如与断路器配合实现故障区域的隔离。在故障定位过程中，FTU还可以提供故障发生时的相关参数，如故障电流的大小、故障电压的幅值等，这些参数有助于分析故障的性质和严重程度，为故障修复提供参考依据。

3. 行波法原理与特点

3.1 行波产生与传播

行波在配电网中的产生和传播有着特定的原理。当配电网发生接地故障时，故障点相当于一个新的电源注入点，这个点会产生向线路两端传播的行波。行波的产生是由于故障瞬间电压和电流的突变。在故障发生的瞬间，故障点处的电压会突然改变，这种电压的突变会产生一个以一定速度向线路两端传播的电磁波，也就是行波。行波在传播过程中，会沿着线路的电感、电容等分布参数进行传播。它的传播速度取决于线路的参数，如电缆的波速和架空线的波速是不同的。在传播过程中，行波会遇到线路中的各种元件，如变压器、电抗器等，这些元件会对行波产生反射和折射现象。反射和折射后的行波会与原始行波相互叠加，形成复杂的行波传播情况。

3.2 行波故障定位原理

行波故障定位原理基于行波在配电网中的传播特性。当故障发生时，在故障点会产生初始行波，这个初始行波会向线路两端传播。在传播过程中，行波会到达线路的终端或者其他特殊点（如分支点），然后会发生反射。通过检测线路上不同位置检测点接收到行波的时间差，可以计算出行波传播的距离，从而确定故障位置。例如，如果在距离故障点较近的检测点先接收到初始行波，然后经过一定时间后接收到反射行波，而在距离故障点较远的检测点接收到这两种行波的时间差会更大。根据行波的传播速度和这些时间差，就可以构建数学模型来计算故障点到检测点的距离。这种定位方法不依赖于线路的精确阻抗参数，能

够在一定程度上克服传统定位方法的局限性。

3.3 行波法优势与局限

行波法在配电网接地故障定位中具有明显的优势。首先，行波法的定位精度相对较高。由于它是基于行波的传播时间差来确定故障位置，不受线路参数误差的影响，所以能够更精确地定位故障点。其次，行波法对于高阻接地故障也有较好的检测能力。在高阻接地情况下，虽然故障电流较小，但行波的产生和传播特性依然存在，行波法可以通过检测行波来定位故障。然而，行波法也存在一些局限性。行波法对检测设备的要求较高，需要高精度的行波传感器来准确检测行波的到达时间。而且，行波在传播过程中会受到线路中的噪声干扰，这些噪声可能会影响行波到达时间的准确测量，从而影响故障定位的准确性。此外，行波法的计算过程相对复杂，需要考虑行波的反射、折射等多种因素，这对计算资源和算法的要求也较高。

4. FTU与行波法结合技术

4.1 结合方式与策略

FTU与行波法的结合有着多种方式和策略。一种方式是数据层面的结合。FTU采集到的电压、电流等数据可以为行波法提供更多的辅助信息。例如，FTU可以提供故障发生前的正常运行数据，这些数据可以帮助行波法更准确地判断行波的起始点。同时，行波法检测到的行波相关信息也可以反馈给FTU，让FTU进一步优化对故障的判断。在策略方面，可以采用分层级的结合策略。在配电网的不同层级，根据故障的可能性和对供电的影响程度，灵活运用FTU和行波法。例如，在靠近变电站的区域，可以优先利用FTU进行初步的故障检测，因为这一区域FTU的分布相对密集，数据采集更加全面。如果初步判断存在故障但无法精确定位时，再引入行波法进行精确的故障定位。

4.2 数据融合处理方法

FTU与行波法结合时的数据融合处理是关键环节。首先，要对FTU采集到的大量电气量数据和行波法检测到的行波数据进行数据清洗。去除其中的异常数据和噪声数据，确保数据的准确性。然后，进行数据的标准化处理，将不同来源、不同量级的数据转化为统一的标准格式，以便于后续的融合计算。在数据融合算法方面，可以采用加权平均法。根据FTU数据和行波数据在故障定位中的重要性赋予不同的权重。例如，在判断故障的大致区域时，FTU数据可能更重要，那么可以给予较高的权重；而在精确确定故障位置时，行波数据的权重可以适当提高。此外，还可以采用基

于神经网络的数据融合方法。通过构建神经网络模型，将 FTU 数据和行波数据作为输入，经过神经网络的训练和学习，输出融合后的故障定位结果。

4.3 故障特征提取算法

FTU 与行波法结合的故障特征提取算法是提高故障定位准确性的重要手段。对于 FTU 采集的数据，可以提取电压突变特征、电流突变特征以及功率因数变化特征等。例如，通过分析电压在故障瞬间的下降幅度和变化趋势，能够判断故障的严重程度。对于行波法的数据，可以提取行波的到达时间特征、行波的幅值特征等。将 FTU 和行波法的故障特征进行综合分析，可以采用主成分分析算法。主成分分析算法可以将多个相关的故障特征转化为少数几个不相关的主成分，这些主成分能够更有效地反映故障的本质特征。还可以采用小波分析算法，通过小波变换将故障特征分解到不同的尺度上，从而更细致地分析故障特征，为故障定位提供更准确的依据。

5. 技术应用效果与展望

5.1 定位准确性分析

FTU 和行波法结合的技术在配电网接地故障定位中的定位准确性有显著提升。从实际应用数据来看，与传统定位方法相比，这种结合技术的定位误差明显减小。在复杂的配电网拓扑结构下，FTU 提供的丰富电气量数据能够辅助行波法更准确地判断行波的传播路径和反射情况。例如，在多分支的配电网中，FTU 采集到的不同分支的电流数据可以帮助行波法排除一些干扰因素，从而更精确地确定故障点到检测点的距离。而且，通过数据融合和故障特征提取算法，能够进一步提高定位的准确性。通过对大量故障案例的分析，这种结合技术的定位准确性可以达到较高的水平，能够满足配电网安全稳定运行的需求。

5.2 对配电网运行影响

FTU 和行波法结合的技术对配电网运行有着积极的影响。在故障定位方面，这种技术能够快速准确地定位接地故障，从而缩短故障修复时间。这意味着配电网的停电时间减少，供电可靠性得到提高。对于配电网的维护来说，准确的故障定位有助于维护人员更快地找到故障点，减少排查故障的工作量。同时，这种技术还可以通过 FTU 的实时监测功能，对配电网的运行状态进行全面的评估。例如，通过分析 FTU 采集到的长期数据，可以预测配电网设备的老化情况，提前采取维护措施，避免故障的发生。此外，这种技术的应用也有助于优化配电网的运行方式，提高配电网

的运行效率。

5.3 技术发展趋势

FTU 和行波法结合的技术在未来有着广阔的发展趋势。随着智能电网的发展，FTU 的功能将不断增强，它将能够采集更多种类的电气量数据，并且数据的准确性和实时性也将得到进一步提高。行波法方面，随着检测技术的进步，行波传感器的精度将不断提升，能够更准确地检测行波的相关信息。在数据融合和故障特征提取方面，将引入更多的人工智能算法，如深度学习算法。深度学习算法能够自动学习和挖掘数据中的潜在规律，从而进一步提高故障定位的准确性。此外，随着配电网规模的不断扩大和复杂程度的提高，FTU 和行波法结合的技术将向分布式、智能化的方向发展，以更好地适应配电网的发展需求。

结束语：基于 FTU 和行波法的配电网接地故障定位技术经研究取得一定成果。该技术提升了故障定位准确性与效率，对配电网安全运行意义重大。未来需进一步优化算法、完善系统，以适应配电网不断发展需求，更好保障电力供应稳定。

参考文献

- [1] 陶政臣, 高湛军, 见文号. 基于投入并联小电阻的含多分支配电网单相接地故障行波测距方法 [J]. 电力系统保护与控制, 2024, 52(20): 38-48.
- [2] 穆尔夏迪·艾买提, 白小鹏, 蒋德鹏, 李小鹏, 买振兴. 一种基于北斗和双阶段的电力通信网络故障识别与定位技术研究 [J]. 人工智能科学与工程, 2024, (03): 75-83.
- [3] 陶政臣, 高湛军, 见文号. 基于前后逐段逼近的含多分支配电网单相接地故障测距方法 [J]. 电力系统保护与控制, 2024, 52(16): 110-119.
- [4] 黄智鹏, 秦飞翔, 朱革兰, 王东芳, 杨敏. 基于改进阻抗法的复杂有源配电网快速故障测距方法 [J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(03): 80-84.
- [5] 王富林, 韦美印, 谭斯发. 配网线路单相接地故障定位的应用 [J]. 中国高新科技, 2021(07): 68-69.

作者简介：周到（1986-），男，汉，湖南，学士，中级工程师，研究方向：配电网智能控制，DTU，FTU。