

配电自动化架空线路故障定位与隔离研究

王振乾

(国网湖南省电力有限公司保靖县供电分公司, 湖南 湘西 416500)

摘要 本研究聚焦配电自动化背景下的架空线路故障快速定位及隔离技术,介绍了架空线路故障定位技术原理、实现方法与应用效果,对故障隔离技术的分类、实现方法以及发展趋势进行了探讨,并针对现有的技术缺陷提出了多源信息融合、自适应定位模型、改进的故障隔离控制策略等方法,以期为提高配电网智能化运维水平、增强供电可靠性提供参考。

关键词 配电自动化; 架空线路; 故障定位; 故障隔离; 智能监测

中图分类号: TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.08.007

0 引言

配电网是电力系统面向用户的最终环节,其运行可靠性和供电质量直接关系到社会经济的发展和民生的改善。架空线凭借造价较低、易于施工安装和维护方便等优势,在配电网中占据较大比重。本文主要研究配电自动化架构下架空线路故障定位和隔离技术,对它的技术原理、实现方式和发展现状进行梳理,分析各种方案的利弊,并针对目前技术应用中遇到的问题,提出多源信息融合、自适应智能算法以及协同控制策略等改进方向。

1 架空线路故障定位与隔离技术概述

1.1 传统故障定位与隔离方法的局限性

受环境、技术、线路老化等因素影响,配电线路很容易出现断线、接地等事故,严重影响了配电网的安全效益和经济效益。为避免上述问题,配电网建设过程中需利用好智能装置,在配电自动化技术和 GIS 定位技术的基础上,实现故障区域快速定位、线路故障综合分析、故障断电自动恢复等,最大限度缩短线路故障断电时间,从根本上提升用户用电满意度。21 世纪以来,我国各地区配电企业不断加大对智能配网的投入力度,在配电自动化技术基础上推进配电网的数字化改造与系统优化,着力提升电网运行的稳定性、可靠性和智能响应能力。而传统故障定位多依赖人工巡查,受地形、天气影响大,如山区线路巡查需耗费大量人力时间,且隔离故障常需手动操作开关,延误供电恢复,难以适配当前配电网高效运维需求,凸显智能技术应用的必要性。

1.2 现代故障定位与隔离技术的发展

随着科技的发展,现代的故障定位和隔离技术逐渐发展起来。其中,利用行波理论进行故障定位的技术就是基于故障产生的行波沿线路传播这一特点来检测行波传播的特点进行故障定位的一种方式,其具有反应速度快、定位精确的优点。故障指示器技术就是把故障指示器装在配电线路上,能随时看线路里的电流、电压等,若发现有故障信号就马上让指示器动起来,这样就能给负责维护电力设施的人员提供清楚的故障所在之处。GIS 技术与智能算法相融合,将配电网空间数据和属性数据进行集成,并建立配电网的拓扑模型,在故障发生时采用智能算法分析故障电气量的变化情况,结合 GIS 数据对故障点进行快速定位。自动化隔离技术是结合智能检测、自动化控制和高级数据分析技术实现对故障的快速检测并完成自动隔离的一种技术,具备精准度高、操作方便、反应速度快的特点,将是今后配电系统故障隔离的主要趋势。

1.3 配电自动化在故障定位与隔离中的支撑作用

配电自动化系统集成成了计算机技术、通信技术、自动控制技术,可以对配电网中的设备运行状态进行实时监测、远程控制。发生故障时,配电自动化系统主要依靠馈线终端单元 (FTU)、配电终端单元 (DTU) 等智能终端对线路的电流、电压、零序电流等电参量进行实时采集,再通过通信网络将数据上传至主站系统。主站系统根据采集到的故障信息,结合设备地理位置以及事先设定的故障判别逻辑,可以快速、准确地定位故障点。

在故障隔离环节,主站系统根据 FTU 反馈的状态

作者简介: 王振乾 (1999-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 配电自动化。

信息,远程开关控制指令,实现故障区段的自动隔离,对非故障区域快速恢复供电,从而大大提高配电系统的供电可靠性和抢修效率。配电自动化还具有故障预警功能,可以监测电网运行参数的异常趋势,识别潜在风险并提前干预,降低故障发生的概率。

虽然故障指示器仍然可以用来辅助故障检测,但是它的作用很有限,主要弥补 FTU 在一些盲区或者非监测节点上的信息缺失。总体来说,FTU 和 DTU 在配电网故障定位及处理流程中起着核心作用,已经成为配电网智能化运维不可缺少的重要设备。

2 架空线路故障定位技术

2.1 自动化终端行波定位技术的应用研究

在配电自动化系统当中,依靠行波理论的故障定位技术被整合到智能终端设备之中,大多依托馈线终端(FTU)等自动化终端对线路发生故障时产生的暂态行波信号予以迅速采集和处理。线路发生故障的时候,故障点会在很短的时间内向两端传送暂态电流行波,自动化终端凭借高速采样模块对行波特征展开监测,并把数据立即传送给主站。主站采用小波变换、傅里叶变换等数字信号处理算法,结合两侧终端的时间差数据进行精确的计算,可以快速地判断故障区段或者精确定位故障点^[1]。

为了提高系统的定位精度,就需要保证各个终端设备之间的时间是几乎同步的,一般能达到毫秒或者微秒级别,通常会使用 GPS 或者通信对时的方式。此外,双端定位能有效减少误差,并且适合于支路繁杂的架空配电线路,相较于传统的依靠人工巡检的方式,基于自动化终端的行波定位方式响应速度快、定位准确度高、自动化程度高等优点,极大地提高了配电网故障处理的效率以及智能化水平。但在实际使用中仍存在干扰源多、网络同步难等问题,从而保证行波数据的正确采集与判断。

2.2 基于故障指示器的定位方法研究

故障指示器是一种安装在配电线路上的智能设备,可以实时监测线路的电流、电压等重要参数。线路出现故障的时候,故障指示器就能够很灵敏地察觉到不正常的电气量发生变动,随后立刻触发相应的动作机制,依靠发光或者翻牌等较为直观的方式来显示故障发生的地点,从而给运维人员提供一些初步的故障信息。同时,故障指示器还可以通过先进的无线通信技术,把故障信息及时、准确地传递到主站系统。主站系统收到这些信息之后,会联系配电网络的拓扑结构展开分析,进而精确地找出故障发生的确切地点。该技术比较自动化,但实际使用时,其性能取决于指示器是

否准确可靠^[2]。此外,为了维持指示器始终处在良好运行状态,也要定时实施保养并更新零件,改进故障指示器的效能表现,采用更精准度的传感器来更好地把握电气参数发生改变的情况;还可以采用先进的通信技术,使故障消息在传送期间做到完备而且正确,从而为确定故障地点提供更为坚固的基础。

2.3 基于 GIS 的定位技术

GIS 技术把配电网的空间数据和属性数据深度融合,从而形成非常逼真的配电网拓扑模型。当发生故障的时候,这项技术会运用智能算法来分析故障时电气量变化的情况,再结合 GIS 数据快速找到故障点。具体实施时,首先要精心在 GIS 系统当中建立配电线路的地理信息模型,该模型要包含线路走向、线路长度以及杆塔位置之类的详细信息内容,从而保证模型的精确性及完备性。然后在线路上架设各种监测装置,对电气参数进行实时监测,并迅速传回主站。主站系统通过智能算法对采集的数据进行分析处理,正确地识别出故障发生的位置。最后利用 GIS 模型中的地理信息找到具体的故障点。最大的优点就是能够实现对故障的直观定位,运维人员根据定位结果可以快速前往故障现场进行处理,极大地提升了故障处理的速度与准确性。

2.4 基于智能算法的定位技术

基于智能算法的定位技术,对大量的故障样本深入学习训练后,可以建立非常准确的定位模型,具备很强的自适应与容错能力。人工神经网络能自动从电压电流波形中提取时空信息,经过对训练数据不断学习后,形成起输入参数与故障位置之间的复杂映射关系。在实际应用时,只需要把当前采集到的电气参数作为输入,输入已经训练好的神经网络模型中,就可以快速得到故障发生的位置。而遗传算法则是通过模拟自然选择过程,对故障位置的候选解进行优化,把故障定位问题巧妙地转化成了优化问题,并且不断迭代搜索最优解^[3]。为了提升智能算法的水平,需要大量的训练数据,这样可以有效地增强算法应用能力,使它在各种各样的复杂环境中都能够对故障进行精准地定位。

3 架空线路故障隔离策略

3.1 断路器隔离策略

断路器隔离在电网安全稳定运行体系中处于核心地位,是防范架空线路故障的关键防线。其工作原理是通过准确快速地断开故障线路的电气连接,从而将发生故障的区域从正常的电网中彻底地分离开来,为故障区域的修复和恢复正常供电提供有利的条件。当架空线路开始运行的时候,智能监测体系就像灵巧的

“触角”，随时察觉线路的情形，一旦发现故障信号，断路器就凭借着自身迅捷反应的优势，在极为短促的时间里动作起来，立即切断了故障电流，阻止了故障向其他部分扩展蔓延，防止给电网带来更大的危害损害，维持了电网大范围的安稳状况。该策略具有动作可靠、隔离效果显著的突出优点，若想实现断路器自动控制的目标，则可全面融合配电自动化技术，将断路器与智能监测设备以及通信设备进行紧密结合处理^[4]。智能监测设备碰到故障信号的时候，可以快速经由高速、稳定又牢靠的通信网络把关键的消息精准地送到主站体系。主站系统依靠先进故障定位算法所得出的成果，准确无误地向断路器下达控制指令，进而执行断路器的远程分合闸动作，有效地提升了对故障处理的速度及准确性。

3.2 负荷开关隔离策略

负荷开关隔离策略对于保证负荷侧稳定供电是不可或缺的，在切断故障线路与负荷的电气连接时，负荷部分不会受到故障的影响，保证了负荷侧的持续供电。负荷开关主要用来切断或接通正常的工频工作电流，由于它不能切断短路电流，在实际应用中，一般与熔断器串联。当线路发生故障时，由于熔断器的特性是能迅速地熔断，它首先切断短路电流，从而为后面切断故障创造了条件。之后负荷开关动作，完成故障区隔离，该策略的优点是结构简单、成本低，适用于对成本比较敏感，但对供电可靠性要求不是特别高的场合。要完成负荷开关的自动控制，可用电压一时间型或者过流脉冲计数型分段器^[5]，电压一时间型分段器依靠及时，准确地检测线路电压改变来执行分合闸动作，一旦线路失压持续时间达到预设值，分段器就会自行分闸；当线路重新有电供应之后，经过一段时间，分段器就会自行合闸。

3.3 隔离开关隔离策略

隔离开关在电网安全运行中具有十分关键的作用，它的主要功能是将发生故障的线路与其它线路有效隔离起来，以此避免故障向其他部分蔓延，进而保证整个电网处于安全稳定的状况之中。在对设备进行检修时，可以有效地把带电的部分和正在检修的部分隔离开来，给检修人员提供一个安全的检修环境，降低检修过程中的安全风险。在架空线路中，隔离开关一般设置在杆塔上或者变电站里，线路一旦出现故障时，应由人工操作拉开隔离开关，将故障线路从系统中隔离开来，从而避免故障扩展，保障系统其余部分的正常运行。为了提升隔离开关操作的效率与安全性，可以使用电动操作机构，这样就能远程操控隔离开关，

电动操作机构一投入使用，人工操作的麻烦和危险就减轻了，而且也提升了操作准确性和及时性，这样一来，工作人员就能在安全距离之外对隔离开关执行操作。

3.4 综合隔离策略

综合隔离策略是一种先进的、灵活的应对架空线路故障的方式，它可以充分利用各种隔离方式的优点，根据不同的故障类型、不同的故障位置、系统的不同运行状态来选择最合适的隔离方式，从而实现故障的快速隔离。在实际应用当中，要针对不同的故障类型选用不一样的隔离方法。以永久性故障来说，采用断路器隔离策略就能够较快地切断故障电流，阻止故障持续对电网造成危害，防止故障范围继续扩散。而对于瞬时性故障，负荷开关隔离策略能够在故障消失后自行恢复供电，减小停电时间和范围，提升供电可靠性。遇到复杂的故障状况时，可以采取分层分区隔离的做法，把主要的故障部分先隔离开来，不让故障蔓延开去，然后再慢慢解决剩下的那些故障，这样就能提升解决问题的准确度和速度。另外，随着分布式电源在电网中的普及，综合隔离策略还需要考虑分布式电源的接入情况，协调分布式电源和配电网开关设备的动作，使得在故障发生时能迅速、准确地定位并隔离故障。

4 结束语

基于配电自动化的架空线路故障快速定位与隔离技术是保障配电网安全稳定运行并改善供电可靠性的重要技术。本文对架空线路故障定位与隔离技术进行了深入的研究，剖析了传统的局限性及现代的发展趋势，探究了以行波理论为基础的、以故障指示器为载体的、以 GIS 为平台的、利用智能算法的故障定位技术和断路器隔离法、负荷开关隔离法、隔离开关隔离法和综合隔离法。针对已有的技术存在的问题，提出改善的策略并进行了仿真实验来证明改良技术的可行性。

参考文献：

- [1] 王子康. 输电线路故障预测与智能诊断方法[J]. 仪器仪表标准化与计量, 2024, 42(02): 34-37.
- [2] 贾毓彦, 贾飞. 智能化变电站监测与故障诊断系统的设计与优化分析[J]. 集成电路应用, 2024, 41(01): 41-44.
- [3] 蔡志坚. 智能化平台在输电线路运检系统中的应用研究[J]. 电工技术, 2023, 40(S1): 28-31.
- [4] 罗燕. 配电网故障快速定位与隔离技术研究[J]. 工程地质学, 2024, 43(09): 52-55.
- [5] 杨会元. 配电线路故障快速切除与隔离技术分析[J]. 产业经济, 2019, 38(12): 39-42.