

文献标识码: B 文章编号: 1003-0492 (2024) 06-068-04 中图分类号: TP206*.3

10kV配电线路配网故障自动处理技术探析

Analysis on Automatic Fault Handling Technology of 10kV Distribution Lines

★ 沙梦雨 (国网虞城县供电公司, 河南 商丘 476300)

摘要: 在现代电力系统中, 10kV配电线路作为连接变电站和最终用户之间的关键环节, 其稳定性和可靠性对整个电网的正常运行至关重要。故障自动处理技术, 特别是其在10kV配电线路配网中的应用, 旨在快速识别、定位并解决配网中发生的故障, 从而最小化供电中断的时间和范围。技术领域的探索不仅对保障供电安全有着重要意义, 而且对提高电网的智能化和自愈能力具有长远的影响。本文从10kV配电线路配网常见的故障类型出发, 探讨了现有故障自动处理技术的局限性, 并基于此提出了一套针对10kV配电线路配网的故障自动处理技术设计。

关键词: 10kV; 配电线路; 自动处理技术

Abstract: In modern power system, 10kV distribution lines are the key link between the substation and the end user, and its stability and reliability are crucial to the normal operation of the entire power grid. Automatic fault handling technology, especially in the distribution network of 10kV distribution lines, aims to quickly identify, locate and resolve faults occurring in the distribution network, thereby minimizing the duration and extent of power outages. The exploration in the field of technology is not only of great significance for ensuring the safety of power supply, but also has a long-term impact on improving the intelligence and self-healing ability of power grid. Based on the common fault types of 10kV distribution lines, this paper discusses the limitations of the existing automatic fault handling technology and puts forward a set of automatic fault handling technology designs for 10kV distribution lines.

Key words: 10kV; Distribution lines; Automatic processing technology

在当代电力系统的运营管理中, 10kV配电网扮演着至关重要的角色, 其稳定与可靠的运行直接关系到区域供电安全和社会的持续发展。鉴于配电网环境的复杂多变, 配电线路经常面临多种故障风险, 故障一旦发生, 不仅会对电网的稳定性造成极大威胁, 还可能导

致大范围的电力供应中断, 将对社会经济活动产生严重影响。因此, 提高配电网故障自动处理能力, 实现故障的快速定位与处理, 对于提升电网的可靠性和供电质量具有重要意义。

1 10kV配电线路配网常见故障

1.1 短路故障

短路故障的形式主要包括相间短路和相对地短路, 其中相间短路因电导体间直接接触或电气间隙击穿而产生, 而相对地短路则是由于导体与接地体之间的绝缘失效引起^[1]。具体到10kV配电线路, 其短路电流大小受到线路阻抗特性的影响, 通常在几千安培至数万安培之间变化, 具体数值依赖于故障点距离变电站的距离及线路的配置方式。短路故障产生的高电流会导致电气设备过热, 甚至烧毁, 同时会引发电压骤降, 影响电网的正常供电。

1.2 开路故障

与短路故障相比, 开路故障可能不会立即引发显著的电流变化, 但长期存在的开路状态会导致供电不稳定, 甚至会引起系统频率和电压的不正常波动, 严重时可能导致配电网部分区域电压过低, 影响电力质量和用电安全。在10kV配电线路中, 开路故障的检测与定位相对复杂, 这主要是因为故障点两端的电压和电流可能不会立即表现出明显的异常, 特别是在负荷较轻或线路较长的情况下, 故障特征更为隐蔽。

1.3 设备故障

断路器故障则主要表现为机械故障和电气故障两大类。机械故障包括操作机构失效、断路器不能开合等，电气故障则包括触头烧蚀、电弧不熄灭等。绝缘子损坏通常因外界污染、电气过负荷或物理损伤导致其绝缘性能下降，进而影响整个配电网的正常运行^[2]。接地系统故障主要包括接地电阻增大、接地线断裂等，这类故障会直接影响配电系统的安全运行和设备的保护性能。

2 现有故障自动处理技术的局限性

自动化故障定位技术虽然能够快速响应，但在复杂电网结构中，准确率仍有待提高。传统的故障指示器依赖于电流突变来识别故障，但在多馈线、环网系统中，故障电流可能因为路径分流而不足以触发指示器，导致故障定位的准确率仅为70%-80%。目前的故障隔离技术虽然可以有效地将故障区域与健康区域隔离，但在执行隔离操作时的时间延迟仍然存在。在故障发生后，平均需要1~2分钟才能完成故障隔离，这对于要求高可靠性供电的关键负载来说，时间延迟过长。这些局限性的存在，不仅影响了配电网的可靠性和稳定性，也为未来的技术发展提出了新的挑战^[3]。

3 10kV配电网线路配网故障自动处理技术设计

3.1 系统操作流程

故障检测是系统操作流程的初步环节，其主要任务是实时监控配电网的运行状态，通过分析电流、电压等电气参数的异常变化来快速识别系统中的故障现象。现代配电网系统通常采用敏感的电气测量设备和高速通信技术，实现毫秒级的故障检测能力。例如，配电自动化系统可以在检测到电流突增超过设定阈值时，立即触发故障报警程序，如图1所示。

故障诊断环节紧随故障检测之后启动，旨在准确识别故障类型及其发生的具体位置。这一过程依赖于



图1 系统操作流程

高级的数据分析技术和故障定位算法，如行波法、阻抗法等，其中行波法通过分析故障点产生的行波前沿时间差，精确计算故障位置；阻抗法则通过测量线路两端的电压和电流比值，确定故障距离^[4]。这些技术能够在故障发生后的几十毫秒至几秒内完成故障诊断，为后续的故障隔离和处理提供依据。

3.2 技术应用

3.2.1 故障处理

本文旨在通过一个具体的算法—基于改进的遗传算法 (Improved Genetic Algorithm, IGA) 的实时故障监测与定位方法来阐述10kV配电网线路配网中故障处理技术的应用。该算法通过模拟自然选择和遗传学原理，优化故障指标计算，实现快速、准确的故障定位。

定义故障指示函数 $F(x)$ ，该函数旨在评估故障信号与预设故障模式之间的匹配度。 $F(x)$ 可以表示为：

$$F(x) = a \cdot n_{fault} + b \cdot d_{fault} \quad (1)$$

其中， n_{fault} 代表故障指示器的数量， d_{fault} 代表从故障点到最近故障指示器的距离， a 和 b 是权重因子，用于平衡两个指标的影响力。

接下来，采用改进的遗传算法 $F(x)$ 进行优化，以求解最佳的故障点位置。改进的遗传算法通过引入变异率自

适应调整机制, 增强算法的搜索能力, 避免过早收敛于局部最优解。算法的关键步骤包括选择 (Selection)、交叉 (Crossover)、变异 (Mutation) 以及适应度计算 (Fitness Calculation)。其中, 适应度函数定义为:

$$Fitness(x) = \frac{1}{1 + F(x)} \quad (2)$$

适应度函数旨在评估某一解决方案的质量, 函数值越大, 说明解决方案越接近最优。

在算法运行过程中, 初始化一个种群, 包含若干随机生成的解决方案。然后, 按照适应度函数对种群中的个体进行评估和排序, 选择适应度最高的个体进行交叉和变异操作, 生成新一代种群。通过不断迭代, 直至满足终止条件, 最终得到的最优解即为故障点的最佳估计位置。

该算法的应用实现了以下几个方面的技术突破:

实时性: 通过实时收集配电线路的运行数据, 并运用IGA进行快速处理, 该技术能够实现故障的即时检测和定位, 显著减少了故障恢复时间。

准确性: IGA通过全局搜索能力和局部精细搜索的结合, 大幅提高了故障定位的准确率, 减少了误判和漏判的可能性^[5]。

自适应性: 通过自适应调整变异率, IGA能够根据搜索过程中的动态变化自我调整, 可以有效应对复杂多变的配电网环境。

基于改进的遗传算法的故障处理技术, 不仅优化了故障监测与定位过程, 而且提高了配电网故障自动处理技术的实时性、准确性和自适应性。

3.2.2 自愈网技术

该技术基于复杂的算法和数学模型, 通过对配电网网络的连续监测和实时数据分析, 自动执行故障隔离和系统重配置, 从而最小化故障影响, 提高了系统的自愈能力。本节将重点介绍自愈网技术中的实时监测算法及其应用。

自愈网技术的核心是实时监测算法, 该算法基于电力系统的实时数据, 如电流、电压、频率等, 来判断系统的运行状态和是否存在故障。定义系统状态向量 $S(t)$, 其中包含了在时间点 t 的关键电气参数, 如各节点

电压 $V(t)$ 、线路电流 $I(t)$ 等:

$$S(t) = [V(t), I(t)] \quad (3)$$

接下来, 通过对 $S(t)$ 的分析, 算法能够实时评估系统的健康状态。一旦检测到参数异常, 即可认为系统可能存在故障。

自愈网技术将启动故障隔离程序。故障隔离旨在通过开启或关闭配电网中的断路器或开关, 将故障点隔离, 防止故障扩散到健康的网络部分。故障隔离的决策基于最小化系统总中断电量的原则, 可表示为:

$$\min \sum_{i=1}^n P_{\text{中断}}(i) \quad (4)$$

其中, $P_{\text{中断}}(i)$ 表示第 i 个区域因故障隔离而导致的电量中断。

自愈网技术将执行系统重配置, 即通过调整配电网网络的拓扑结构, 恢复因故障隔离部分而中断的供电, 确保最大范围内的用户能够迅速恢复供电。系统重配置的目标是找到一种新的网络配置, 既能绕开故障区域, 又能保证电力系统的稳定性和安全性, 其优化目标可表述为:

$$\min \sum_{i=1}^n \Delta V(i)^2 + \lambda \sum_{j=1}^m \Delta I(j)^2 \quad (5)$$

其中, $\Delta V(i)$ 和 $\Delta I(j)$ 分别表示节点电压和线路电流相对于正常值的偏差, λ 是权衡电压稳定性和电流限制的调节系数。

通过上述算法的应用, 自愈网技术能够实现配电网在遭遇故障时的快速响应、故障隔离以及系统的自动重配置, 显著提高了系统的可靠性和韧性。

4 技术测试

在本研究中所选数据集主要用于测试自愈网技术的性能, 所有数据都被用于测试自愈网技术在不同故障场景下的响应效率。我们总共选取了5个数据点进行分析, 每个数据点均模拟了一次特定的故障场景。这些数据点综合考量了不同故障类型对配电网自愈能力的影响, 为技术性能的全面评估提供了依据。每条数据包含了多个关键内容, 涵盖了节点电压偏差、线路电流偏差、系统响应时间、故障隔离效率以及系统重配置成功

率等指标。这些内容不仅反映了故障发生时配电网络的电气特性，也体现了自愈网技术在故障检测、隔离和系统重配置等方面的应对效果，如表1所示。

表1 技术测试数据

序号	节点电压偏差	线路电流偏差	系统响应时间(秒)	故障隔离效率(%)	系统重配置成功率(%)
1	0.04	0.03	1.76	100	100
2	0.05	0.02	1.82	100	100
3	0.03	0.05	1.67	100	100
4	0.06	0.04	1.59	100	100
5	0.02	0.06	1.73	100	100

测试数据显示自愈网技术在所有模拟的故障场景中均实现了快速有效的故障响应，其中节点电压偏差和线路电流偏差均保持在较小的范围内，表明系统在故障后能够维持较好的电气参数稳定性。系统响应时间普遍低于2秒，反映出自愈网技术具有高效的故障检测和处理能力。此外，故障隔离效率和系统重配置成功率均达到100%，说明该技术能够准确隔离故障区域并有效重配置系统，以恢复供电，展现了自愈网技术在配电网故障管理中的高效性和可靠性。这些结果证实了自愈网技术在提高配电网韧性和可靠性方面的显著优势，为其

在实际配电网中的应用提供了有力的支持。

5 结语

综上所述，针对10kV配电线路配网中的故障自动处理技术进行深入探析，不仅能够推动电力系统自动化、智能化技术的发展，提高电网运行的安全性和稳定性，还有助于优化电力资源的分配，增强系统对突发事件的响应能力和恢复力，最终实现电力供应的高效性和可持续性。此外，该研究领域的进展还将促进相关领域技术的交叉融合和创新，为电力系统管理、设备制造、信息技术等行业提供了新的发展机遇和挑战，具有广泛的社会经济效益和长远的发展前景。AP

作者简介：

沙梦雨（1990-），女，河南商丘人，中级工程师，学士，现就职于国网虞城县供电公司，研究方向为10kV配电线路故障诊断分析、配电线路故障自动判断及检修。

参考文献：

- [1] 柴文杰, 邵世俊, 汤伟富, 等. 10kV线路跳闸快速复电的改进措施[J]. 科技创新与应用, 2021, 11 (12): 113 - 115.
- [2] 王月鹏. 10kV配电线路带电作业安全综合评价的应用与研究[J]. 自动化应用, 2023, 64 (22): 104 - 106.
- [3] 徐文华, 和文龙, 陈继忠, 等. 10kV配电线路雷电感应过电压在线监测装置及其应用[J]. 高压电器, 2023, 59 (4): 77 - 83.
- [4] 仲赞, 蒋丰庚, 刘腾柱, 等. 数字化接地故障定位装置在10kV配电线路故障处理中的应用[J]. 电力与能源, 2022, 43 (4): 308 - 311.
- [5] 鲍建, 杨沛豪. 10kV配电线路单相接地故障定位方法[J]. 上海电气技术, 2021, 14 (3): 22 - 25.