

# 浅析微电网继电保护方法

陈文杰

福建省送变电工程有限公司 福建 福州 350000

**摘要：**微电网作为分布式能源集成系统，其继电保护需应对故障电流受限、潮流双向性、运行模式切换及保护配置复杂等挑战。当前主流方法包括基于电流序分量的故障检测、差动电流保护实现区内故障精准切除、方向纵联保护适应馈线复杂拓扑，以及电压扰动和谐波畸变保护提升抗干扰能力。通过单元级与系统级保护协同、广域信息融合及自适应策略，可有效提升微电网在并网/孤网模式下的安全性与可靠性。

**关键词：**微电网；继电保护方法；配置与协调策略

引言：随着分布式能源技术的快速发展，微电网作为成分布式发电、储能与负荷的局部自治系统，已成为智能电网的重要组成部分。然而，微电网中电力电子设备占比高、潮流双向流动、运行模式灵活切换等特性，使其继电保护面临故障特征弱化、保护配合困难等新挑战。传统电网保护方法难以直接适用，亟需研发兼具高灵敏度与选择性的新型保护技术。本文从微电网特性分析入手，系统探讨其继电保护的关键方法与协调策略。

## 1 微电网特性与继电保护挑战

### 1.1 微电网结构与运行特性

(1) 拓扑结构：微电网是融合分布式电源（DG）、储能装置、多元负荷及公共耦合点（PCC）的集成电力系统。其中，分布式电源涵盖光伏、风电、微型燃气轮机等，储能装置多采用锂电池、飞轮等技术，可平抑电源出力波动；负荷包含工业、商业及居民用电负荷，具备多样性与随机性；公共耦合点（PCC）作为微电网与大电网连接的关键节点，承担功率交换与运行模式切换的核心功能，整体拓扑呈现分散化、模块化特征，可根据实际需求灵活组网<sup>[1]</sup>。(2) 运行模式：微电网主要分为并网模式与孤网模式，且需实现两者的平滑切换。并网模式下，微电网与大电网协同运行，可向大电网输送多余电能或从大电网吸纳不足电能，依赖大电网维持电压与频率稳定；孤网模式下，微电网脱离大电网独立运行，需依靠自身储能装置与分布式电源的协调控制，保障内部负荷的可靠供电。模式切换过程需快速响应电网状态变化，避免电压骤升骤降、频率波动等问题，确保供电连续性。

### 1.2 继电保护关键挑战

(1) 故障电流受限：微电网中分布式电源多通过电力电子接口接入，其过流能力受器件特性限制，短路电流通常 $\leq 2$ 倍额定电流，远低于传统大电网短路电流。

这导致传统过流保护装置难以准确识别故障，保护灵敏度大幅下降，易出现拒动现象，无法及时切除故障。(2) 潮流双向性：分布式电源的分散接入改变了传统电网单向潮流的特性，微电网内部潮流方向随电源出力、负荷变化而动态调整，呈现双向性。传统基于固定潮流方向设计的方向性保护，难以准确判断故障方向，易发生误动，影响电网安全运行。(3) 运行模式切换：微电网在并网与孤网模式切换过程中，电网拓扑、短路电流水平、保护定值需求均发生变化。若保护系统无法快速识别电网故障并同步触发模式切换，易因定值不匹配导致保护误动或拒动，甚至引发连锁故障，破坏微电网稳定。(4) 保护配置复杂性：微电网保护需同时兼顾单元级与系统级需求。单元级保护需快速切除局部故障，避免故障扩散；系统级保护需统筹协调各分布式电源、储能装置的运行状态，保障全局稳定。两者保护目标存在差异，如何实现保护策略的有效协调，避免保护冲突，成为微电网保护配置的重要难题。

## 2 微电网继电保护方法

### 2.1 基于电流序分量的保护方法

(1) 原理：在微电网故障工况下，系统对称性被打破，会产生负序电流与零序电流。该方法通过提取故障电流中的负序、零序分量，利用其特性差异检测故障类型。对于相间短路故障，负序分量会显著增大；对于接地故障，零序分量则成为关键判断依据，可同时适用于对称与不对称故障场景，弥补了传统过流保护对低短路电流故障不敏感的缺陷。(2) 分区保护策略：结合微电网模块化拓扑特点，将其划分为多个独立保护区域，每个区域配置序分量检测装置。当故障发生时，通过对比不同区域序分量的幅值大小与相位关系，确定故障所在区域。例如，故障区域的负序电流幅值通常远大于非故障区域，且相位存在明显差异，以此实现故障的精准定

位,避免保护范围交叉导致的误动<sup>[2]</sup>。(3)案例:在某分布式光伏微电网工程中,针对孤网模式下接地故障处理难题,采用负序电流保护方案。当系统发生单相接地故障时,保护装置快速捕捉到负序电流突变,在 $\leq 50\text{ms}$ 内完成故障隔离,未对光伏逆变器及其他负荷造成影响,验证了该方法在孤网模式下的有效性。

## 2.2 差动电流保护方法

(1)原理:依据基尔霍夫电流定律,在保护区域的两端分别安装电流互感器,实时采集流入与流出该区域的电流。正常运行或外部故障时,两端电流大小相等、方向相反,差值接近零;当区内发生故障时,两端电流差值会急剧增大,保护装置检测到这一差值超过设定阈值后,立即触发跳闸指令,实现区内故障的快速切除。(2)优势:相较于传统保护方法,差动电流保护不受系统运行模式、潮流方向及短路电流大小的影响,具有极高的灵敏度与选择性。在高渗透率分布式电源(DG)接入场景下,即使系统短路电流水平较低,仍能准确识别区内故障,有效避免了因潮流双向性导致的保护误动问题,是保障微电网核心区域供电安全的重要手段<sup>[3]</sup>。(3)改进方向:当前差动保护在处理高阻接地故障时,因故障电流差值较小,灵敏度不足。未来可结合广域通信技术,构建多端差动保护系统,整合多个监测点的电流数据,通过数据共享与协同计算,提升对高阻接地故障的检测能力;同时,引入自适应算法,根据系统运行状态动态调整差动阈值,进一步优化保护性能。

## 2.3 方向纵联保护方法

(1)原理:在微电网馈线的关键节点配置方向元件,实时判断故障电流的流向。当故障发生时,故障点两侧的方向元件会分别检测到电流流向故障点的动作信号,通过纵联通信通道将这些信号传输至保护控制中心。控制中心对两侧信号进行逻辑判断,若均检测到指向故障点的动作信号,则判定为区内故障,触发跳闸;若仅单侧检测到信号,则判定为外部故障,不动作,以此确定故障位置。(2)应用场景:特别适用于含多DG的辐射状馈线微电网。此类微电网中,DG的分散接入导致馈线潮流方向复杂多变,传统定值配合式保护难以满足要求。方向纵联保护通过基于故障方向的判断逻辑,无需依赖固定的保护定值配合,可有效避免因潮流变化导致的保护误动或拒动,保障馈线供电稳定性。(3)工程案例:某工业园区微电网包含风电、光伏及储能系统,馈线网络呈辐射状分布。该微电网采用方向纵联保护方案后,在一次馈线末端发生三相短路故障时,故障点两侧的方向元件迅速动作,通过纵联通信实现信息交互,仅0.08s

内完成故障隔离,未影响其他馈线及园区核心负荷供电,展现了该方法在复杂馈线网络中的可靠性。

## 2.4 电压扰动与谐波畸变保护方法

(1)电压扰动保护:通过高精度传感器实时监测分布式电源(DG)出口端的电压信号,分析电压的幅值、相位及畸变率变化。不同类型故障会导致特征性的电压扰动,例如单相接地故障会使故障相电压降低、非故障相电压升高,高阻接地故障则会导致电压畸变率显著上升。保护装置通过识别这些特征扰动,精准判断接地故障类型,为故障处理提供依据。(2)谐波畸变保护:微电网正常运行时,电流谐波成分较低且稳定;当发生内部故障时,故障点会产生大量特征谐波(如2次、3次谐波),且谐波含量远高于外部扰动场景。该方法通过提取故障电流中的谐波成分,对比谐波幅值、相位及频谱分布的差异,区分内部故障与外部扰动(如DG出力波动、负荷投切),有效提升保护系统的抗干扰能力,减少误动风险<sup>[4]</sup>。(3)局限性:该保护方法对硬件与数据处理能力要求较高。一方面,需配置高精度电压、电流传感器,确保信号采集的准确性,硬件成本较高;另一方面,实时分析电压扰动特征与谐波成分需强大的数据处理算法支持,对微电网监控系统的运算速度与稳定性提出挑战,在小型微电网或成本敏感场景中应用受限。

## 3 微电网继电保护配置与协调策略

### 3.1 单元级保护配置

(1)DG保护:分布式电源(DG)作为微电网的核心发电单元,需配置电压/频率保护单元,其动作值严格按IEEE1547标准整定。当DG出口电压超出额定值的 $\pm 10\%$ 、频率偏离50Hz(或60Hz) $\pm 0.5\text{Hz}$ 时,保护单元快速动作,避免DG非计划脱网。例如,光伏逆变器的过电压保护整定为1.1倍额定电压,欠电压保护整定为0.9倍额定电压,频率保护上限设为50.5Hz、下限设为49.5Hz,确保DG在电网异常时有序退出,减少对微电网稳定性的冲击。(2)馈线保护:针对微电网馈线潮流双向性的特点,采用功率方向元件与距离保护组合方案。功率方向元件实时判断电流流向,区分故障是发生在馈线内侧还是外侧;距离保护则根据故障点到保护安装处的阻抗值确定故障位置,不受潮流方向影响。两者协同工作,当馈线发生短路故障时,功率方向元件锁定故障方向,距离保护精准计算故障距离,快速切除故障段,避免故障扩散至其他馈线。(3)PCC保护:公共耦合点(PCC)是微电网与大电网交互的关键节点,需设置电压跌落检测装置与静态开关(SS)。电压跌落检测装置实时监测PCC处电压,当检测到电压跌落幅度超过30%且持续时间超过100ms时,

立即触发静态开关动作,实现微电网从并网模式到孤网模式的快速切换,切换时间控制在200ms以内,保障微电网内部负荷持续供电,避免大电网故障对微电网的影响。

### 3.2 系统级保护协调

(1)中央控制器(MCC):微电网中央控制器(MCC)作为系统级保护协调的核心,集成各单元级保护装置的运行信息与故障信号。当故障发生时,MCC快速分析故障类型、位置及影响范围,协调各保护单元的动作时序。例如,当馈线发生故障时,MCC优先触发馈线保护动作,延迟DG保护与PCC保护的動作时间,避免因保护动作顺序混乱导致的越级跳闸,确保故障切除的选择性与可靠性。(2)广域保护系统:依托高速通信网络(如光纤通信,传输速率 $\geq 100\text{Mbps}$ ),实现微电网内多节点(DG、馈线、PCC)的电流、电压数据同步采集,构建基于广域信息的差动保护主方案。该系统通过对比不同节点的电流差值,精准判断区内故障,即使在高阻接地、故障电流较小的场景下,仍能可靠动作。例如,在含多DG的环形微电网中,广域差动保护可在50ms内识别环网内的短路故障,切除故障线路,保障其他区域正常运行<sup>[5]</sup>。

### 3.3 保护与控制协同

(1)备自投(BZT)与检同期合闸:在孤网模式下,当某一馈线故障切除后,备自投(BZT)装置迅速检测到失电区域,自动投入备用电源(如储能装置、备用DG),恢复对失电负荷的供电,恢复时间 $\leq 1\text{s}$ 。同时,检同期合闸功能实时检测备用电源与失电区域的电压、频率、相位差,确保合闸时两者同期性,避免非同期合闸产生的冲击电流损坏设备,保障供电恢复的安全性。(2)自适应保护策略:根据微电网内DG出力波动(如光伏出力

随光照变化、风电出力随风速变化)与负荷变化(如工业负荷启停),动态调整保护定值。例如,当DG出力增加时,适当提高过流保护的動作值,避免因正常负荷电流接近保护定值导致误动;当负荷减小时,降低距离保护的動作阻抗,提升对轻微故障的灵敏度。通过实时自适应调整,显著提升保护系统对微电网动态运行状态的适应性,减少保护误动、拒动概率。

### 结束语

微电网继电保护是保障其安全稳定运行的核心环节,面对分布式电源高渗透率、潮流双向性及多模式切换等挑战,需综合应用电流量、差动保护、方向纵联等多元技术,并强化单元级与系统级保护的协同配合。未来,随着广域通信与人工智能技术的融合,微电网保护将向自适应化、智能化方向发展,进一步提升对复杂工况的响应能力,为分布式能源的高效利用与电网韧性提升奠定坚实基础。

### 参考文献

- [1]刘磊,张鹏.分布式电源接入对微电网继电保护影响的研究[J].电力系统自动化,2020,44(7):78-85.
- [2]王涛,李东.微电网继电保护的优化方法研究[J].电力技术,2021,38(6):102-103.
- [3]张亮,孙博.基于智能算法的微电网继电保护策略研究[J].电气工程学报,2022,45(3):56-57.
- [4]王飞鹏.智能电网继电保护的关键技术分析[J].集成电路应用,2022,39(12):200-201.
- [5]张俊彦,张利钦.浅述微电网继电保护的研究与应用[J].石家庄学院学报,2022,24(03):73-74.