

分布式能源接入对电网稳定性的影响分析

王 晶

平高集团有限公司 河南 平顶山 467000

摘要: 随着可再生能源技术的不断发展,分布式能源(Distributed Energy Resources, DERs)接入电网的比例逐渐增加。分布式能源以其灵活、环保的特点,为电力系统提供了新的能源供应方式。然而,分布式能源的接入也给电网的稳定性带来了新的挑战。本文将从电压稳定性、频率稳定性、谐波特性及故障恢复等方面,详细分析分布式能源接入对电网稳定性的影响,并探讨相应的缓解措施。

关键词: 分布式能源; 电网稳定性; 电压稳定性; 频率稳定性; 谐波特性; 故障恢复

引言

分布式能源是指分布在用户端或电网边缘的小规模发电设施,如太阳能光伏、风力发电、微型水电等。这些能源具有间歇性和可变性,其接入电网后,对电网的稳定运行产生了显著影响。本文旨在探讨分布式能源接入对电网稳定性的影响,并提出相应的解决方案。

1 分布式能源接入对电网电压稳定性的影响

1.1 电压波动与闪变的探讨

分布式能源的出力特性显著受到自然环境因素(如风速、光照强度等)及用户用电需求的双重影响,呈现出明显的间歇性和不稳定性。这种出力特性直接导致了电网电压的频繁波动与闪变现象。在分布式能源大规模接入电网的情况下,其出力的随机变化将显著加大电网电压的波动幅度,进一步削弱电网的电压稳定性。特别是在分布式能源出力骤减或骤增的时段,电网电压可能会经历急剧下降或上升的过程,给电网的安全稳定运行带来严峻挑战。

1.2 无功出力调节能力的局限性分析

分布式能源在无功出力调节方面存在一定的局限性。相较于传统的大型电源,分布式能源的无功调节能力相对较弱,难以在电网电压出现波动时提供及时、有效的无功支撑。这种局限性可能导致在电网电压不稳定的情况下,分布式能源无法迅速响应并调整其无功输出,从而加剧了电压的波动程度。此外,部分分布式能源可能还缺乏必要的无功补偿装置或自动调节系统,进一步限制了其在无功调节方面的作用。

1.3 接入点选择与电压稳定性的关联研究

分布式能源的接入点位置和数量对电网电压稳定性具有重要影响。合理选择接入点可以显著提高电网电压的稳定性。例如,将分布式能源接入电压较弱的节点,可以通过其出力来增强该节点的电压支撑能力;而将分

布式能源接入电网潮流较大的节点,则可以通过其调节能力来平衡电网潮流,减少电压波动。此外,合理安排分布式能源的容量和分布也是提高电压稳定性的重要手段。通过科学规划分布式能源的接入容量和分布位置,可以优化电网结构,提高电网的整体电压稳定性。

2 分布式能源接入对电网频率稳定性的影响

2.1 频率扰动的加剧现象

分布式能源,尤其是可再生能源发电的大规模并网,会显著加剧电网的频率扰动。由于可再生能源(如风能、太阳能)的发电出力具有显著的间歇性和波动性,这种出力特性的不稳定性会直接导致电网频率的动态变化更加复杂和难以预测。在分布式能源出力发生剧烈波动时,电网频率可能会经历快速的上升或下降,从而增加了频率偏差的幅度和频率,对电网的稳定运行构成威胁。

2.2 电网惯量下降与频率响应速度减缓

分布式能源通常不具备传统同步发电机所具有的旋转惯量。随着分布式能源在电网中占比的增加,电网的整体惯量会相应下降。惯量的下降会导致电网对频率偏差的响应速度变慢,因为缺乏足够的旋转惯量来迅速吸收或释放能量以平衡功率的不平衡^[1]。这意味着在电网发生频率扰动时,系统需要更长的时间来恢复稳定状态,从而增加了频率不稳定的风险。

2.3 调频能力的不足与频率稳定性挑战

分布式能源在调频能力方面存在显著的局限性。由于它们通常无法像传统电源那样快速调节其输出功率以响应电网中的功率不平衡,因此在电网负荷发生波动时,分布式能源无法提供有效的调频支持。这可能导致电网在面临负荷波动时,频率稳定性无法得到及时和有效的保障。特别是在分布式能源占比较高且缺乏足够调频资源的电网中,这种调频能力的不足可能会进一步加

频率不稳定的问题。

3 分布式能源接入对电网谐波特性的影响

3.1 谐波污染问题的严重性

分布式能源接入电网后,其内置的电力电子设备在运行过程中会产生谐波电流,进而对电网的电能质量产生不良影响。谐波电流的存在不仅会导致电网中的电流和电压波形发生畸变,还可能引发一系列严重问题,如电网设备过热、绝缘材料加速老化、甚至发生绝缘击穿事故。此外,谐波还可能引起电网中的谐振现象,进一步放大谐波电流,对电网的稳定运行构成潜在威胁。因此,谐波污染问题是分布式能源接入电网后必须高度重视的问题。

3.2 谐波分布特性的复杂性

分布式能源的出力具有显著的随机性和间歇性,这种出力特性的不稳定性会直接影响谐波电流的频率分布。在谐波共振频率附近,由于分布式能源出力的波动,可能会出现谐波放大的现象,导致该频率段的谐波电流显著增加。此外,分布式能源在电网中的分布通常是不均匀的,这会导致不同区域的谐波注入和吸收情况存在显著差异^[2]。一些区域可能会因为分布式能源的集中接入而成为谐波的主要注入点,而其他区域则可能因为缺乏足够的谐波吸收能力而成为谐波的高风险区域。这种谐波分布特性的复杂性给电网的谐波治理带来了更大的挑战。

4 分布式能源接入对电网故障恢复的影响

4.1 孤岛运行问题的复杂性与挑战

当配电网中的并网断路器因故障或其他原因断开后,分布式能源可能无法及时检测到这一变化,并继续向部分馈线供电,从而形成孤岛运行现象。孤岛运行不仅可能对系统设备造成过载或损坏,还可能对维修人员或附近居民构成安全威胁。此外,孤岛运行还会打破原有的电网结构,使得故障恢复过程变得更加复杂和困难。为了应对孤岛运行问题,需要采取一系列措施,如安装孤岛检测装置、优化分布式能源的控制策略等,以确保在故障发生时能够迅速切断分布式能源的供电,避免孤岛运行现象的发生。

4.2 保护协调问题的新挑战与应对策略

分布式能源的接入会显著改变电网的潮流分布,从而对电网的保护装置产生深远影响。传统的配电网保护方案通常基于单向潮流和固定的网络结构进行设计,而分布式能源的接入使得电网潮流变得双向且动态变化,这可能导致传统的保护装置出现误动或拒动的情况。误动会导致非故障区域的不必要停电,而拒动则可能无法

及时切除故障,进一步扩大故障范围。为了应对这一挑战,需要研究新的保护协调方案,以适应分布式能源接入后的电网特性。这包括开发能够准确识别故障方向的保护装置、优化保护定值以适应潮流变化等。同时,还需要加强电网的监控和数据分析能力,以便在故障发生时能够迅速定位并切除故障点,恢复电网的正常运行。

5 分布式能源接入对电网稳定性影响的缓解措施

5.1 惯量替代与增强策略

分布式能源,特别是基于逆变器的可再生能源发电系统,往往缺乏传统旋转电机所提供的系统惯量。为了缓解这一问题,可以采用以下几种惯量替代与增强策略:虚拟惯量技术:这是一种创新的解决方案,通过先进的控制算法和实时监测系统,使分布式能源系统能够模拟传统发电机的惯量特性。当电网频率发生偏差时,虚拟惯量技术能够迅速响应,通过调整分布式能源的输出功率来提供必要的惯量支撑,从而减缓频率变化的速率,为电网的稳定运行提供有力保障。能量存储系统的部署:电池储能系统(BESS)和飞轮储能系统等新型能量存储技术,不仅能够在分布式能源出力不足或过剩时提供平衡功率,还能在电网频率出现偏差时发挥重要作用。通过精确的控制策略,这些能量存储系统可以在频率下降时释放能量,增加输出功率,提供额外的惯量支撑;而在频率上升时,则可以吸收多余能量,减少输出功率,帮助稳定电网频率。这种灵活的调节能力使得能量存储系统成为缓解分布式能源接入导致惯量下降问题的有效手段^[3]。在实施这些缓解措施时,需要综合考虑技术可行性、经济成本以及电网的实际需求。通过合理的规划与设计,可以确保分布式能源与电网的和谐共存,共同推动能源转型和可持续发展。

5.2 电压稳定性控制

5.2.1 优化分布式能源的控制策略

一是无功优先控制:这一策略强调在分布式能源的发电过程中,优先调节其无功功率输出。通过精确的无功功率控制,可以实现对电网电压水平的主动调节,进而提升电网的电压稳定性。在实际操作中,可以依据电网电压的实际波动情况,灵活调整分布式能源的无功功率输出,以达到稳定电压的目的。二是电压-无功协调控制:该策略将电压控制和无功功率控制紧密结合,通过实时监测电网电压和无功功率的变化,动态调整分布式能源的功率输出。这种协调控制方法能够更全面地考虑电网的运行状态,从而更精确地维持电网的电压稳定性。在实际应用中,可以依据电网的具体需求,设定合理的电压-无功控制策略,以确保分布式能源在接入电网

后能够发挥积极的稳定作用。

5.2.2 增强分布式能源的调峰和调频能力

一是利用能量存储系统：通过部署电池储能系统（BESS）或其他类型的能量存储装置，可以在分布式能源出力不足或电网负荷高峰时，提供额外的电力支持。这种能量存储系统不仅能够增强分布式能源的调峰能力，还能在电网频率出现波动时，通过调节其充放电功率来提供调频支持，从而进一步提升电网的电压稳定性。二是利用分布式可控负载：分布式可控负载，如智能家居设备、电动汽车充电站等，可以通过智能调度系统实现对其用电功率的精确控制。在电网电压不稳定时，可以通过调整这些可控负载的用电功率，来平衡电网中的功率需求，从而减轻电网的电压波动。这种分布式可控负载的灵活调度能力，也是提升电网电压稳定性的有效手段之一。

5.3 谐波治理

5.3.1 采取适当的滤波措施：

一是安装谐波滤波器：谐波滤波器是专门针对谐波电流设计的滤波装置，通过串联或并联的方式接入电网，能够有效滤除电网中的谐波电流，从而降低谐波污染。在实际应用中，需要根据分布式能源产生的谐波特性，选择合适的谐波滤波器类型和参数，以确保滤波效果达到最佳^[4]。二是配置无功补偿装置：无功补偿装置不仅能够提供电网所需的无功功率，还能在一定程度上抑制谐波的产生和传播。通过合理配置无功补偿装置，可以优化电网的功率因数，减少谐波电流的产生，从而降低谐波对电网的影响。

5.3.2 合理规划分布式能源的接入点和容量：

分布式能源的接入点选择对谐波的传播和分布具有重要影响。在实际规划过程中，需要综合考虑电网的结构、负荷分布以及分布式能源的出力特性，选择合适的接入点，以降低谐波对电网的潜在影响。分布式能源的接入容量也是影响谐波污染的重要因素。过大的接入容量可能导致谐波电流的增加，从而加剧谐波污染。因此，在规划分布式能源的接入容量时，需要充分考虑电网的承载能力和谐波治理的需求，确保接入容量在合理范围内。

5.4 加强电网规划与运营优化

5.4.1 电网规划的精细化调整

在电网规划阶段，应充分考虑分布式能源的分布特

性、出力模式及其对电网的影响，科学合理地选择接入点。通过优化接入点的布局，可以最大限度地减少分布式能源接入对电网结构和运行方式的冲击，提高电网的接纳能力和稳定性。随着分布式能源的不断发展，电网结构需要具备一定的灵活性和可扩展性，以适应未来可能的接入需求。这包括加强电网的联络线建设，提高电网的互供互备能力，以及预留足够的接入容量和通道，为分布式能源的接入提供便利。

5.4.2 运营策略的优化与创新

在电网运营过程中，应根据分布式能源的实时出力情况和电网的负荷需求，动态调整电网的运行方式。例如，在分布式能源出力高峰时段，可以通过优化调度策略，减少传统发电机的出力，以降低电网的损耗和排放；在负荷低谷时段，则可以利用分布式能源的储能功能，实现电力的平衡和调度。随着智能化技术的不断发展，可以将其应用于电网的规划与运营中，以提高电网的智能化水平和运行效率。例如，通过建设智能电网监测系统，可以实时监测分布式能源的接入情况和电网的运行状态，及时发现并处理潜在的问题；通过应用大数据分析技术，可以对分布式能源的出力模式进行预测和分析，为电网的调度和运行提供科学依据。

结语

分布式能源的接入为电网带来了新的能源供应方式，但同时也对电网的稳定性产生了显著影响。本文从电压稳定性、频率稳定性、谐波特性及故障恢复等方面详细分析了分布式能源接入对电网稳定性的影响，并提出了相应的缓解措施。未来，随着分布式能源技术的不断发展和电网智能化水平的提升，相信电网的稳定性将得到进一步提升。

参考文献

- [1]杨傅文.分布式能源接入配电网的运行风险评估研究[D].沈阳工程学院,2021.
- [2]张璐,唐巍.规模化分布式能源接入下配电系统承载力提升技术[J].供用电,2024,41(07):2+1.
- [3]王鹤,刘子悦,边竟,等.面向高比例分布式能源接入的输配网两阶段风险调度研究[J].电网与清洁能源,2024,40(01):119-129.
- [4]段晓庆.城镇居民分布式能源接入电网的应用技术研究[J].应用能源技术,2022,(04):4-6.