

电气工程新能源微电网稳定运行控制技术

苏 德 周松洋 任志磊 刘 浩

内蒙古华电锡林浩特新能源有限公司 内蒙古 锡林郭勒盟 026000

摘 要: 新能源微电网作为分布式能源系统,其稳定运行对能源转型意义重大。本文围绕电气工程新能源微电网稳定运行控制技术展开,阐述构成要素、运行特性及核心需求,分析新能源发电特性、负荷变化等关键影响因素,介绍有功、无功功率控制等多种技术分类,设计分布式电源、储能系统等控制策略。通过系统研究,为提升新能源微电网稳定运行水平提供理论支撑与实践参考,助力在能源领域发挥更大作用。

关键词: 新能源微电网; 稳定运行; 控制技术; 影响因素; 控制策略

引言: 随着能源转型加速,分布式能源发展迅猛,新能源微电网作为整合分布式能源的关键形式,受到广泛关注。它融合多种能源形式,具备灵活、自治等优势,能有效提升能源利用效率,增强供电可靠性。然而,新能源发电的间歇性、负荷的随机性等因素,给微电网稳定运行带来挑战。研究新能源微电网稳定运行控制技术,对于保障安全可靠运行、推动能源可持续发展至关重要,是当前能源领域亟待解决的关键问题。

1 新能源微电网稳定运行控制基础

1.1 新能源微电网构成要素

新能源微电网构成要素围绕能量生产、转换、存储、消费及调控全流程展开,各要素相互衔接、协同作用,共同构成完整的小型发电系统^[1]。分布式新能源电源是核心供能要素,涵盖风电、光伏等可再生能源发电装置,同时可搭配天然气分布式能源等辅助电源,为微电网提供持续能量输入。储能装置作为能量调节核心要素,包括储电、蓄热等多种形式,用于平抑新能源出力波动,实现能量的存储与释放。能量转换装置承担能源形态转换功能,变流器等设备将新能源电源输出的电能转换为符合系统运行要求的形式,保障能源高效传输。负荷作为能量消费要素,涵盖各类用电设备,按用电特性可分为柔性负荷与关键负荷,是微电网能量供给的终端对象。监控与保护装置作为调控与保障要素,实现对微电网运行状态的实时监测与异常防护,支撑系统安全稳定运行,各要素有机结合形成具备自我控制、保护和管理能力的自治系统。

1.2 新能源微电网运行特性

新能源微电网运行特性由其构成要素与结构特点共同决定,呈现出显著的复杂性与多样性。波动性是核心运行特性,受自然环境影响,风电、光伏等新能源电源出力存在随机变化,难以实现稳定输出,直接影响系统

能量平衡。运行模式的灵活性是重要特性,可根据实际需求实现并网与孤岛两种模式的灵活切换,并网运行时可与大电网实现能量双向互动,孤岛运行时可独立保障本地负荷供电。多能互补性体现于各类能源的协同运行,通过整合不同类型新能源与储能资源,实现能源的优化配置,提升能源利用效率。自治性体现在系统具备独立的控制与管理能力,可通过智能能量管理系统实现内部功率平衡、电能质量调控等功能,无需过度依赖大电网调度,同时具备故障状态下的应急供电能力。

1.3 稳定运行控制核心需求

新能源微电网稳定运行控制需围绕系统安全、电能质量与能量平衡三大方向,满足多维度核心需求。电能质量保障是基础需求,需通过控制手段维持系统电压、频率稳定,抑制谐波污染,确保输出电能符合相关电力标准,适配各类负荷用电需求。能量平衡控制是核心需求,需协调新能源电源出力、储能装置充放电与负荷消耗之间的关系,平抑新能源出力波动与负荷变化带来的影响,避免出现功率失衡导致系统运行异常。运行模式平滑切换需求贯穿运行全过程,需实现并网与孤岛模式的无缝过渡,减少模式切换过程中电压、频率的波动,保障供电连续性。系统安全防护需求聚焦异常状态处置,需快速响应设备故障、功率突变等突发情况,通过精准调控避免故障扩大,保障微电网各环节设备安全与整体运行稳定,为后续控制技术与策略的实施奠定基础。

2 新能源微电网稳定运行关键影响因素

2.1 新能源发电特性带来的运行波动

新能源发电特性直接引发微电网运行波动,核心源于风电、光伏等可再生能源的固有特性。风电电源出力受风速、风向变化影响显著,风速的不确定性导致发电功率呈现间歇性波动,低风速时出力不足,高风速时易出现功率骤增;光伏电源出力依赖光照强度、环境温度

等自然条件,光照强度的随机变化的昼夜更替会导致发电功率大幅起伏,温度变化则会影响光伏组件转换效率,进而加剧出力波动^[2]。这种波动会打破微电网原有功率平衡,导致系统电压、频率出现偏差,增加稳定运行控制难度,是影响微电网稳定运行的首要因素。

2.2 负荷变化对运行稳定性的作用

负荷变化是影响微电网运行稳定性的重要变量,负荷消费的随机性与多样性会直接改变系统能量供需关系。各类用电负荷的启停、运行功率调整缺乏固定规律,居民生活负荷、工业负荷的用电高峰与低谷交替出现,会导致系统负荷需求呈现周期性与突发性变化。负荷骤增会造成系统功率短缺,引发电压跌落、频率下降;负荷骤减则会导致功率过剩,造成电压升高、频率波动,两种情况均会破坏微电网能量平衡,影响系统运行稳定性,需通过精准调控适配负荷变化节奏。

2.3 储能系统运行状态的影响

储能系统作为微电网能量调节的核心载体,其运行状态直接关联系统稳定运行水平。储能系统充放电效率、容量状态及响应速度,决定对新能源出力波动与负荷变化的调节能力。充放电效率不足会导致能量损耗过大,无法有效平抑功率波动;容量不足则难以应对持续的出力低谷或负荷高峰,无法实现能量供需平衡;响应速度滞后会导致功率调节不及时,加剧系统运行波动。此外,储能系统运行过程中的衰减、故障等问题,会进一步削弱调节能力,甚至引发系统运行异常,影响微电网稳定运行。

2.4 微电网与大电网交互的扰动

微电网与大电网的交互过程中,各类扰动会直接影响微电网稳定运行。并网运行模式下,大电网电压、频率的波动会通过连接点传递至微电网,导致微电网内部电能质量下降,引发设备运行异常。大电网调度指令的调整会改变微电网与大电网之间的功率交换方向与大小,若功率交换突变,会打破微电网内部功率平衡,引发运行波动。此外,并网与孤岛模式切换过程中,连接开关的操作、功率的突变会产生瞬时扰动,若调控不当,会导致系统电压、频率出现剧烈波动,甚至引发微电网解列,威胁系统稳定运行。

3 新能源微电网稳定运行控制技术分类

3.1 有功功率控制技术

有功功率控制是维持新能源微电网能量平衡的基础技术,核心作用是协调各类电源出力与负荷消耗,平抑功率波动。该技术通过调节新能源电源输出功率,适配负荷变化节奏,避免功率过剩或短缺引发系统运行异常^[3]。针对风电、光伏等间歇性电源,通过功率预测技术

提前预判出力变化,合理分配出力份额,同时联动储能装置充放电,实现有功功率的动态调节。此外,通过优化负荷调度,引导柔性负荷调整用电时段,进一步优化有功功率分配,保障系统有功功率平衡,支撑微电网稳定运行。

3.2 无功功率控制技术

无功功率控制技术聚焦微电网电能质量提升,主要用于调节系统无功功率分布,维持电压稳定。该技术通过控制变流器、无功补偿装置等设备,实时调节无功功率输出与吸收,补偿新能源电源出力波动及负荷变化带来的无功损耗。通过合理配置无功补偿设备,优化无功功率流向,减少线路损耗,避免因无功功率失衡导致电压偏移、电能质量下降。同时,结合微电网运行状态,动态调整无功功率控制参数,适配不同运行模式下的无功需求,保障系统电能质量达标。

3.3 频率稳定控制技术

频率稳定控制是保障微电网运行稳定性的关键技术,核心是维持系统频率在合理范围。新能源微电网中,新能源出力波动与负荷突变易导致频率偏离标准范围,该技术通过快速响应频率变化,采取针对性调节措施。依托储能装置的快速充放电能力,弥补有功功率缺口或吸收过剩有功功率,快速平复频率波动。同时,优化电源出力调节策略,协调各类电源响应频率变化,提升系统频率调节能力,避免频率波动过大引发设备故障或系统解列。

3.4 电压稳定控制技术

电压稳定控制技术围绕系统电压调节展开,通过多种手段维持各节点电压稳定,适配用电设备运行需求。该技术结合微电网拓扑结构与负荷分布,优化电压调节策略,针对不同节点电压特性采取差异化控制措施。通过调节变流器输出电压、控制无功功率补偿量,实时修正电压偏差,抑制电压波动与谐波污染。同时,加强线路电压监测,及时调整控制参数,避免电压过高或过低对设备造成损害,保障微电网各环节电压稳定,支撑系统安全运行。

3.5 储能系统协同控制技术

储能系统协同控制技术侧重实现储能系统与新能源电源、负荷的协同运行,最大化发挥储能调节作用。该技术通过构建协同控制逻辑,联动储能系统与风电、光伏等新能源电源,实现出力波动的精准平抑。根据负荷变化与新能源出力情况,动态调整储能系统充放电状态,优化能量分配,保障系统能量平衡。同时,协调储能系统与其他控制技术,实现频率、电压的协同调节,提升微

电网运行稳定性与灵活性,为微电网稳定运行提供重要支撑。

4 新能源微电网稳定运行控制策略设计

4.1 分布式电源控制策略

分布式电源控制策略需深度贴合各类电源固有运行特性,结合微电网实时运行状态动态优化调整,核心目标是实现各类电源出力的精准调控与协同联动,支撑系统能量平衡^[4]。针对风电、光伏等间歇性可再生能源,依托先进功率预测技术捕捉出力变化趋势,结合微电网负荷实时需求优化出力分配方案,合理规避出力波动对系统运行造成的冲击。结合不同电源出力特性与系统负荷动态变化,精准调整电源运行参数,确保电源输出功率与系统需求高效适配,兼顾电源运行效率与系统稳定性,通过精细化调控实现分布式电源与微电网系统的良性互动,为系统稳定运行提供可靠供能支撑,契合电力系统运行控制的基本原理与技术规范。

4.2 储能系统充放电控制策略

储能系统充放电控制策略需立足微电网能量平衡核心需求,结合新能源出力波动规律与负荷变化特征科学制定,兼顾储能设备性能保护与系统调节效果。充放电时机的选择需精准适配系统运行状态,新能源出力处于过剩状态时,启动储能充电模式,高效存储多余电能,避免能量浪费;负荷进入高峰时段或新能源出力不足时,启动储能放电模式,快速补充系统功率缺口,平抑功率波动。充放电功率控制需严格贴合储能设备自身性能参数,合理控制充放电速率,避免过度充放电导致设备损耗,延长储能设备使用寿命。通过动态调整充放电策略,实现能量的合理存储与高效利用,提升微电网对出力波动与负荷变化的适配能力,筑牢系统稳定运行的能量调节基础。

4.3 负荷调节控制策略

负荷调节控制策略以实现系统功率供需精准匹配为核心,通过对负荷的精细化引导与调控,优化系统负荷用电曲线,提升微电网运行稳定性。基于各类负荷用电特性进行科学分类,针对柔性负荷制定差异化调节方案,引导柔性负荷在新能源出力高峰时段合理增加用电负荷,在新能源出力低谷时段适当减少用电,实现负荷需求与新能源出力的动态适配。通过精准监测负荷实时变化状态,动态

调整调节方案,有效规避负荷突变对系统造成的冲击,同时优先保障关键负荷用电可靠性,平衡柔性负荷调节灵活性与用电稳定性,优化系统能量分配效率,进一步提升微电网对负荷变化的适配能力,符合微电网负荷调度的技术要求。

4.4 微电网组网运行控制策略

微电网组网运行控制策略需兼顾组网灵活性与运行稳定性,充分适配并网与孤岛两种核心运行模式,实现不同运行场景下的平稳运行。并网运行模式下,重点协调微电网与大电网之间的功率交换,优化功率交换策略,合理控制功率交换规模与方向,避免功率交换突变对双方系统运行造成干扰,保障微电网与大电网协同运行的稳定性。孤岛运行模式下,依托微电网内部自主调控能力,协调分布式电源、储能系统与负荷的运行状态,自主实现内部功率平衡,精准维持系统电压与频率稳定,保障本地负荷可靠供电。通过优化组网控制逻辑,完善运行模式切换机制,实现并网与孤岛模式的平稳过渡,提升微电网组网运行的灵活性与可靠性,保障微电网全工况下的稳定运行。

结束语

新能源微电网稳定运行控制技术的研究,对于提升分布式能源利用效率、保障电力系统稳定意义重大。通过分析其构成、特性与需求,明确关键影响因素,划分控制技术类型,设计针对性控制策略,可有效应对新能源发电波动、负荷变化等挑战,实现微电网内部功率平衡与电能质量保障。后续需持续优化控制技术,提升策略适应性,推动新能源微电网在更多场景广泛应用,为能源领域发展注入新动力。

参考文献

- [1]田正一.基于微网技术的电气工程分布式能源系统协同调度方法研究[J].电气技术与经济,2025,(08):58-61.
- [2]牟瑞.微电网中新能源与储能系统的协同运行策略[J].电力设备管理,2024,(23):158-160.
- [3]李书勇,蔡海青,沈娜,等.不同类型新能源接入对微电网频率的影响[J].分布式能源,2024,9(2):8-18.
- [4]卢军,杨沛豪,何凯琳.新能源储能微电网惯量支撑性能研究[J].电源学报,2024,22(4):182-191.