

新能源并网中电气自动化技术对电力系统稳定性的影响研究

董义俊

乌海超高压供电公司 内蒙 乌海 016000

摘要: 新能源并网因波动性、间歇性等特性给电力系统稳定性带来挑战, 电气自动化技术是保障稳定运行的关键。本文阐述新能源并网特性、电力系统稳定性内涵及核心电气自动化技术体系, 分析实时监测、柔性调控、智能调度类技术的影响机制及不同渗透率下的差异。提出技术优化目标与原则, 从实时监测与数据处理、柔性调控技术组合、智能调度与控制算法、储能与新能源协同控制等方面给出优化策略, 以提升新能源并网系统稳定性。

关键词: 新能源并网; 电气自动化技术; 电力系统稳定性

引言: 随着能源转型推进, 新能源并网规模持续扩大。然而, 新能源发电受气象等因素影响, 具有波动性、间歇性与随机性, 且其电力电子接口特性与传统同步发电机不同, 给电力系统稳定运行带来新难题。电气自动化技术作为保障电力系统安全稳定的重要手段, 在新能源并网场景下发挥着关键作用。深入研究其对电力系统稳定性的影响机制并提出优化策略, 对推动新能源大规模消纳、构建新型电力系统具有重要意义。

1 新能源并网与电气自动化技术相关理论基础

1.1 新能源并网的核心特性与技术原理

新能源并网的核心特性集中体现为波动性、间歇性与随机性, 其根源在于风能、太阳能等一次能源受气象条件影响显著, 导致新能源发电功率难以稳定输出。此外, 新能源发电系统多采用电力电子变换器接口, 与传统同步发电机的机电耦合特性存在本质差异, 呈现出低惯量、弱阻尼的特性, 给电网运行带来新挑战。其技术原理以能量转换与并网适配为核心, 首先通过光伏组件、风力发电机组等设备将可再生能源转化为电能, 经整流、逆变等电力电子变换环节实现电压、频率的适配, 再通过变压器、并网开关等设备接入电力系统^[1]。同时, 需借助滤波装置抑制电力电子变换产生的谐波, 保障并网电能质量, 确保新能源电力平稳融入电网。

1.2 电力系统稳定性的核心内涵

电力系统稳定性是指系统在正常运行或遭受扰动后, 能够恢复至正常运行状态或过渡到新的稳定运行状态, 维持电压、频率等关键运行参数在允许范围内的能力, 其核心内涵涵盖功角稳定、电压稳定与频率稳定三大维度。功角稳定关乎同步发电机之间的同步运行能力, 扰动后若功角无法恢复至稳定区间, 将导致机组失

步, 破坏系统并列运行; 电压稳定侧重系统各节点电压维持在额定范围的能力, 当负荷功率增长或系统供电能力下降时, 若电压持续降低且无法恢复, 将引发电压崩溃; 频率稳定则与系统有功功率平衡密切相关, 有功缺额或盈余将导致频率偏离额定值, 严重时引发频率崩溃。三者相互关联、相互影响, 共同构成电力系统安全稳定运行的基础, 是新能源并网技术应用的核心约束条件。

1.3 新能源并网场景下核心电气自动化技术体系

新能源并网场景下, 核心电气自动化技术体系以保障系统安全稳定运行为目标, 涵盖监测感知、调控执行、调度管理三大核心模块, 形成全流程闭环管控体系。监测感知模块以同步相量测量技术、在线监测装置为核心, 实现新能源发电功率、母线电压、线路电流等关键参数的实时采集与状态评估, 为后续调控提供数据支撑; 调控执行模块依托柔性交流输电技术、电力电子变流器控制技术等, 通过主动调节新能源发电出力、补偿无功功率等方式, 平抑功率波动, 维持电压稳定; 调度管理模块则基于智能调度系统、能量管理系统, 结合新能源功率预测技术, 实现新能源电力与常规电源的协同调度, 优化电力资源配置。另外, 该体系还包含通信传输技术与安全防护技术, 保障数据高效传输与系统运行安全, 支撑新能源高比例并网运行。

2 新能源并网中电气自动化技术对电力系统稳定性的影响机制分析

2.1 实时监测类自动化技术的影响机制

实时监测类自动化技术通过提升系统状态感知能力, 从源头降低扰动对电力系统稳定性的影响, 其核心影响机制体现为“提前预警、精准研判、快速响应”。该类技术借助分布于新能源场站、输电线路、变电站的

监测装置,以毫秒级精度采集发电功率、电压幅值、频率变化等关键数据,通过高速通信网络传输至控制中心^[2]。通过数据融合与智能分析算法,可实时识别新能源功率骤变、线路故障等扰动信号,提前预判扰动对系统稳定性的潜在影响,为调控决策提供精准依据。同时,实时监测数据为稳定控制装置提供触发信号,缩短扰动响应时间,避免扰动扩散升级。例如,通过同步相量测量技术可实时监测发电机功角变化,当检测到功角失稳趋势时,及时触发切机、切负荷等稳定控制措施,有效提升系统功角稳定性,降低失步风险。

2.2 柔性调控类自动化技术的影响机制

柔性调控类自动化技术作为保障新能源并网电力系统稳定运行的关键手段,凭借主动调节系统运行状态的独特优势,精准平衡新能源功率波动与系统供需关系。其影响机制高度聚焦于“平抑波动、补偿失衡、提升阻尼”三大核心要点。该类技术以电力电子器件作为核心执行单元,涵盖了静止同步补偿器、柔性直流输电系统、有源电力滤波器等一系列先进设备,具备快速响应系统电压、功率变化的卓越能力。面对新能源功率的波动性,它能够迅速发挥作用,通过快速且精准地调节储能装置的充放电功率,或者灵活调整新能源发电机组的出力,有效平抑短期功率波动,最大程度减少对系统有功、无功平衡的冲击,确保系统功率的稳定供应。当出现电压波动问题时,其动态无功补偿功能大显身手,能够实时调节节点无功功率,如同精准的电压调节器,维持母线电压的稳定,避免电压出现跌落或飙升等异常情况,保障电力设备的安全运行。另外,部分柔性调控技术通过不断优化控制策略,还能为系统提供附加阻尼,有效抑制低频率振荡,改善系统原本存在的弱阻尼特性,进而缓解新能源低惯量特性给系统稳定性带来的不利影响,全方位提升电力系统的稳定运行水平。

2.3 智能调度类自动化技术的影响机制

智能调度类自动化技术通过优化资源配置与运行策略,从全局提升电力系统应对新能源波动的能力,其影响机制体现为“精准预测、协同调度、风险防控”。依托大数据与机器学习算法,该技术可实现新能源短期、超短期发电功率的精准预测,为调度计划制定提供依据,减少功率预测偏差对系统稳定的冲击。通过构建新能源与常规电源、储能装置的协同调度模型,智能调度系统可动态分配各电源出力,实现有功功率的全局平衡,保障系统频率稳定;同时,通过优化输电通道潮流分布,避免线路过载,提升系统电压稳定水平。智能调度技术可实时评估系统运行风险,针对极端场景制定应

急预案,提升系统抵御突发扰动的能力,保障整体稳定运行。

2.4 不同新能源渗透率下的影响差异分析

不同新能源渗透率下,电气自动化技术对电力系统稳定性的影响呈现显著差异,核心差异源于新能源出力占比对系统惯量、供需平衡特性的改变。低渗透率阶段(通常低于20%),系统仍以传统同步发电机为主导,惯量与阻尼充足,新能源波动影响有限。此时,实时监测与基础柔性调控技术即可满足稳定需求,其影响主要表现为局部电压波动的小幅抑制,对系统全局稳定性影响较小。中渗透率阶段(20%-50%),新能源低惯量特性开始凸显,系统阻尼减弱,功率波动对频率、电压的影响范围扩大。柔性调控技术的补偿效果与智能调度的协同能力成为影响稳定的关键,自动化技术的优化可有效缓解低惯量带来的振荡风险,但调控不当可能引发二次扰动。高渗透率阶段(高于50%),系统惯量大幅降低,供需平衡对新能源出力依赖度极高,功率波动易引发频率、电压大幅波动。自动化技术需实现全场景精准调控,储能协同控制、虚拟惯量控制等技术的作用凸显,其影响直接决定系统能否维持稳定,若技术支撑不足,极易引发系统性稳定问题。

3 提升新能源并网系统稳定性的电气自动化技术优化策略

3.1 技术优化的核心目标与原则

提升新能源并网系统稳定性的电气自动化技术优化,核心目标是构建适配新能源高比例并网的柔性调控体系,实现“稳波动、保平衡、提安全”三大核心目标,即有效平抑新能源功率波动,保障系统有功、无功实时平衡,提升系统抵御扰动的安全稳定能力,支撑新能源全额消纳^[3]。优化原则需遵循安全性优先、协同性适配、经济性平衡、前瞻性布局四大核心准则。安全性优先要求所有优化措施以保障系统稳定运行为前提,避免技术优化引发新的安全风险;协同性适配强调自动化技术与新能源发电特性、储能装置、常规电源的深度协同,形成调控合力;经济性平衡需兼顾技术改造投入与运行效益,在保障稳定的基础上降低优化成本;前瞻性布局则要求充分考虑新能源渗透率提升趋势,预留技术升级空间,适配未来高比例新能源并网场景的稳定需求。

3.2 实时监测与数据处理技术优化

实时监测与数据处理技术优化需聚焦“精度提升、时效强化、智能研判”三大方向,增强系统状态感知能力。在监测终端优化方面,推广应用高精度同步相量测量单元,拓展监测维度,实现新能源场站、储能装置、

关键输电节点的全覆盖监测，提升功率、电压、频率等参数的采集精度与实时性。在数据传输优化方面，构建5G+工业互联网的高速通信网络，降低数据传输延迟，保障监测数据与调控指令的快速交互。在数据处理优化方面，引入边缘计算与人工智能算法，实现监测数据的本地实时分析与异常识别，减少数据上传压力；同时，优化数据融合算法，整合多源监测数据，提升对新能源功率波动、设备故障等扰动的研判精度，为调控决策提供更可靠的数据支撑，缩短扰动响应准备时间。

3.3 柔性调控技术组合优化

柔性调控技术组合优化需基于“分层分区、精准匹配、互补协同”的思路，提升调控系统的适配性与有效性。在技术选型组合上，根据新能源场站分布、电网结构特点，构建“分布式+集中式”的柔性调控体系：分布式调控以新能源场站侧的储能装置、有源电力滤波器为主，平抑局部功率波动与谐波污染；集中式调控以区域级静止同步补偿器、柔性直流输电系统为主，实现跨区域功率平衡与电压支撑。在控制策略优化上，采用模型预测控制、自适应控制等先进算法，实现多柔性调控设备的协同联动，避免设备间动作冲突；同时，结合新能源功率预测结果，提前调整调控参数，提升调控的前瞻性与精准性，有效缓解新能源波动对系统稳定的冲击。

3.4 智能调度与控制算法优化

智能调度与控制算法优化的核心是提升新能源与多元主体的协同调度能力，优化方向聚焦于算法精准性、模型适应性与决策智能化。在算法优化上，引入深度学习、强化学习等人工智能算法，提升新能源发电功率预测精度，降低预测偏差对调度计划的影响；构建考虑新能源波动性、储能充放电约束、电网安全约束的多目标优化调度模型，实现新能源消纳最大化与系统运行成本最小化的平衡。在调度机制优化上，建立“日前调度+日内滚动调度+实时调度”的三级调度体系，增强调度计划的灵活性与适应性；融入虚拟电厂技术，将分布式新能源、储能装置聚合为虚拟电源参与调度，提升系统对分布式新能源的调控能力。在控制算法优化上，优化虚拟惯量控制、下垂控制等算法参数，提升新能源发电系统

的惯量支撑能力，改善系统频率稳定性。

3.5 储能与新能源协同控制优化

储能与新能源协同控制优化是提升系统稳定性的关键支撑，优化核心在于实现“储能充放电与新能源波动精准匹配、储能与电网协同响应”。在协同控制策略优化上，基于新能源功率预测数据，采用模型预测控制算法，动态制定储能充放电计划：当新能源功率过剩时，储能系统充电储存电能；当新能源功率不足时，储能系统放电补能，平抑短期功率波动；针对极端天气下的新能源功率骤变，设置储能应急响应机制，快速释放或吸收功率，保障系统有功平衡^[4]。在控制架构优化上，构建“新能源场站-储能系统-电网”三级协同控制架构，实现局部协同与全局协同的有机结合：场站侧实现新能源与储能的实时联动控制，电网侧根据系统运行状态优化储能系统的整体运行策略。同时优化储能充放电效率与寿命管理算法，在保障稳定的基础上，延长储能设备使用寿命，提升协同控制的经济性与可持续性。

结束语

新能源并网是能源发展的必然趋势，电气自动化技术对电力系统稳定性影响深远。通过分析影响机制可知，不同技术从不同层面保障系统稳定，且随新能源渗透率变化影响差异显著。提出的优化策略涵盖多个关键技术领域，旨在构建适配高比例新能源并网的柔性调控体系。未来，需持续探索创新，提升技术性能，以更好地应对新能源并网带来的挑战，推动电力系统向安全、高效、清洁方向转型。

参考文献

- [1]林其友,王艳杰,杨乐新.含可再生能源并网的电力系统稳定裕度研究[J].电网与清洁能源,2022,38(02):129-134.
- [2]吴建雄.高比例再生能源并网对电力系统稳定性的影响分析[J].电子技术, 2023, 52(10):194-195.
- [3]杜雄.新型电力系统下新能源并网系统的振荡稳定性研究[J].电力工程技术,2022,41(4):1-1.
- [4]秦文龙,吴稀西,李俊杰.规模性新能源接入对电力系统惯性影响研究[J].青海电力,2022,41(S01):1-416.