

Control Evaluation and Testing of Cooperative AGC for Distributed Photovoltaic

Haina Fang Qize Xie

State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Zhoushan Power Supply Company, Zhoushan, Zhejiang, 316000, China

Abstract

Currently, most distributed photovoltaic (PV) systems connected at the 10 kV level are not equipped with Automatic Generation Control (AGC) devices, while those connected at the 380 V level operate relying on group dispatching and control equipment. The cooperative control effect of such equipment is directly related to the stability of PV grid connection, making targeted evaluation of great value. This paper establishes an evaluation system covering control response, cooperative accuracy, and operational stability, and defines specific indicators adapted to group dispatching and control. Simultaneously, the evaluation of strategy adaptability at the 10 kV and 380 V levels, as well as the implementation of static, dynamic, and boundary scenarios, are conducted to clarify the current performance characteristics of cooperative control. Results show that the control performance is stable in static scenarios, but further optimization is needed for dynamic and boundary scenarios. Based on this, optimization paths for algorithms, equipment, and information interaction are proposed, providing support for improving the grid-connection control level of distributed PV without AGC.

Keywords

distributed photovoltaic; AGC collaborative control; group regulation and control; control evaluation; grid stability

分布式光伏 AGC 协同的控制评测

方海娜 谢骐泽

国网浙江省电力有限公司舟山供电公司, 中国·浙江 舟山 316000

摘要

当前 10 千伏接入分布式光伏多未装设 AGC 装置, 380 伏接入光伏依托群调群控设备运转, 此类设备协同控制效果与光伏并网稳定性直接关联, 针对性评测价值突出。本文搭建涵盖控制响应、协同精度、运行稳定性的评测体系, 同时确立适配群调群控的具体指标, 10 千伏与 380 伏层级策略适配性评测、静态-动态-边界场景实施同步推进以厘清当前协同控制表现特征; 结果表明静态场景控制效果稳定, 动态与边界场景仍需优化, 据此给出算法、设备、信息交互优化路径, 为无 AGC 分布式光伏并网控制水平提升提供助力。

关键词

分布式光伏; AGC 协同控制; 群调群控; 控制评测; 并网稳定性

1 引言

随着分布式光伏装机规模拓展, 对配网稳定运行的作用渐趋突出, 10 千伏接入的分布式光伏多未装设 AGC 装置, 380 伏接入的户用及小型光伏全然依托群调群控设备开展运行管理, 这类设备的协同控制能力直接决定光伏出力与配网负荷的匹配效果。现有控制评测多聚焦 AGC 装置, 欠缺适配群调群控协同场景的体系, 难以精准判断实际运行中的控制能力与潜在问题, 本文针对分布式光伏群调群控下的 AGC 协同控制开展评测, 构建评测体系、分析策略适配性、验证多场景表现, 为无 AGC 分布式光伏并网控制优化提供

支撑。

2 分布式光伏 AGC 协同控制评测体系构建

2.1 评测维度设计

面向 10 千伏及 380 伏分布式光伏无 AGC、依赖群调群控的特性, 评测体系应跳出传统单一维度, 围绕控制响应、协同精度、运行稳定性三个维度构建。控制响应维度聚焦设备接收调度指令的响应时效与多台区同步性, 防止部分设备滞后造成出力偏差; 协同精度维度评估单区域电站出力波动与跨区域协调水平, 保障整体出力契合配网需求; 运行稳定性维度考察设备长期调控的工况维持能力, 包含指令执行一致性、无故障时长及异常自恢复能力, 贴合 380 伏设备数量多且分布散的特性, 防范单点故障引发协同中断。

2.2 评测指标定义

关联分布式光伏群调群控运行特性, 依托核心评测维

【作者简介】方海娜 (1975-), 女, 中国浙江舟山, 本科, 工程师, 从事电网调度自动化研究。

度拆解指标内涵。控制响应维度设置指令接收时延与执行时延，前者指向配网指令传输至群调群控主站并解析的过程，后者聚焦主站下发指令后设备完成出力调整的效率，两指标分别适配 10 千伏系统与 380 伏集群控制单元，匹配不同电压层级通信与设备特性。协同精度维度设置单区域与跨区域功率偏差率，前者为区域实际与指令出力差值占指令出力的比例，后者为相邻区域实际与计划出力交互值差值占计划交互值的比例，体现不同层级协同精度表现。运行稳定性维度设置连续无故障时长、指令执行一致性率、故障自恢复时长，分别对标系统无故障运行累计时长、设备同步执行指令比例、轻微故障自主恢复效率，全面覆盖稳定性评估需求。

3 不同电压层级群调群控的 AGC 协同策略适配性

3.1 10 千伏层级群调群控协同策略评测

评测重点聚焦策略分区协同逻辑，验证群调群控主站是否依据配网负荷分布、电站装机容量、当前出力状态及设备调节能力分解调度指令，防范指令分配不均引发部分电站调节压力过载或出力闲置^[1]。亦需评测策略与配网自动化系统的交互能力，包括系统向配网反馈实时出力数据的及时性、接收配网动态调整指令的响应速度，以及配网电压波动时的主动调节策略，确保 10 千伏系统融入配网整体调度体系，替代 AGC 装置达成稳定出力控制；还需评估策略对多电站并联运行的适配性，包括不同品牌、型号群调群控设备的兼容性，以及电站出力波动时的策略调整灵活性，防范设备差异或出力突变引发协同控制中断。

3.2 380 伏层级群调群控协同策略评测

380 伏接入的分布式光伏以户用及小型工商业光伏为主

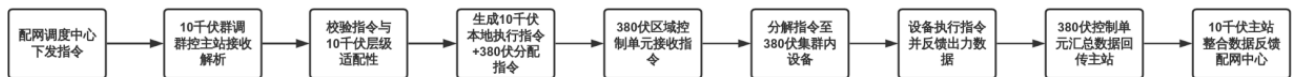


图 1 跨电压层级 AGC 协同控制指令传递流程图

4 分布式光伏 AGC 协同控制评测场景构建与实施

4.1 静态运行场景评测

静态运行场景对应配网负荷平稳、光照条件缓和的工作，评测聚焦群调群控协同控制的稳态精度与一致性；设定配网调度指令为固定出力目标，由 10 千伏主站与 380 伏控制单元向各光伏设备下发指令，持续监测不同电压层级、集群的实际出力数据，对比实际出力与指令目标偏差，计算单区域及跨区域功率偏差率以验证协同精度指标达标情况。同步监测群调群控设备 48 小时静态运行状态，记录指令执行一致性率及连续无故障运行时长，评估稳定工况下的运行稳定性^[3]。针对 380 伏层级还需开展静态负荷适配评测，用户侧负荷稳定时，验证群调群控策略能否依据固定负荷调整光伏出力，确保自发自用比例稳定于合理区间，避免向配网

体，设备规模大、布局分散且单机装机容量低，群调群控协同策略需依托“集群聚合”架构，通过区域控制单元达成海量小容量设备的集中管控。评测重点关注策略的集群划分合理性，考察控制单元是否依据地理分布、电网拓扑及光伏装机密度划分集群，降低通信链路负荷、提升指令传输效能，防范集群规模过大引发控制延迟或集群过于细碎增加协同开销；针对 380 伏层级光伏出力与用户侧负荷强关联特性，评测策略的负荷适配效能，考察是否具备实时感知负荷变化的能力，且能依据负荷波动动态调整光伏出力控制目标，在提升自发自用比例的同时避免向配网倒送功率超标；还需评估策略对小容量设备调节特性的适配度，防范下发复杂控制指令影响设备执行精度，同时考察策略在部分设备离线或故障时的集群重构效能，保障整体协同控制连续性，填补无 AGC 装置导致的控制灵活性缺口。

3.3 跨电压层级协同策略的衔接评测

指令传输链路可靠性评测需验证配网调度指令经 10 千伏主站向下传递至 380 伏控制单元时是否出现指令丢失、延迟或失真，核查传输协议适配度及数据加密与校验机制以保障指令精准传达；出力协调策略合理性评测需验证 10 千伏层级是否依据配网整体需求、380 伏层级负荷特性与光伏出力潜力分配出力调控额度，防范额度过高导致 380 伏设备调节超限或额度过低造成光伏出力浪费；跨层级信息交互完备性评测需验证 380 伏控制单元是否向 10 千伏主站及时反馈实时出力、设备状态及负荷数据，明确信息反馈频率、内容及格式以确保 10 千伏主站全面掌握下层运行状态实现精准调控；跨层级策略异常场景容错能力评估需覆盖通信中断时的应急控制策略，保障链路故障时各层级仍能维持基本控制功能避免整体协同系统崩溃^[2]。如图 1 所示：

倒送功率波动超标，同步观察 10 千伏与 380 伏层级出力协调情况，保障跨层级指令传递及信息反馈顺畅，为动态场景评测提供基础支撑。

4.2 动态运行场景评测

评测过程中先构建负荷突变场景，借助配网模拟系统使 10 千伏配网负荷短时间内出现波动，记录群调群控系统接收波动信号后的指令调整时间及各设备完成出力调整的指令执行时延，考察控制响应指标；同步构建光照突变场景，通过环境模拟装置模拟云层遮挡引发的光照骤降或骤升，观察策略能否快速感知光伏出力自然波动并及时下发调整指令，避免出力波动冲击配网电压，同时监测不同集群间的出力协调速度，验证动态场景下的跨区域功率协调偏差率；针对 380 伏层级还需开展用户侧负荷峰谷切换场景评测，在早高峰、午间、晚高峰等负荷变化时段，验证策略能否动态适

配负荷变化调整光伏出力控制目标,确保出力与负荷实时匹配,同时评估频繁调整过程中的指令执行一致性,避免设备控制混乱。

4.3 边界运行场景评测

边界运行场景对应分布式光伏处于极限工况的运行状态,涵盖设备满负荷运转、部分设备故障、通信链路受限等情况,评测重点考察群调控协同控制的容错效能与极限工况适配能力。评测过程中先构建设备满负荷场景,将10千伏与380伏光伏设备调至最大出力状态并下发配网减载指令,验证系统能否在满负荷下精准执行指令,防范设备达调节上限导致指令失效,同时监测减载过程中出力平滑度,避免出力骤降引发配网功率震荡;同步构建设备故障场景,人为设置部分380伏设备离线或10千伏子站故障,观察系统能否快速识别故障设备并启动集群重构或指令重分配策略,评估故障自恢复时长及重构后出力偏差以验证容错效能;针对通信链路受限场景,模拟配网与10千伏主站、10千伏主站与380伏控制单元间的带宽降低或间歇性中断,监测指令传递时延变化及信息反馈完备性,评估策略在通信受限下的简化控制逻辑有效性,确保通信不佳时仍能维持基本协同控制功能,保障光伏稳定并网^[4]。

5 评测结果分析与协同控制优化方向

5.1 评测结果的核心特征提炼

静态场景中,10千伏与380伏层级协同精度均符合配网调度需求,单区域功率偏差率较低,10千伏跨区域偏差率更优,380伏因设备数量多、布局分散略高但处于可接受范围;运行稳定性层面,两类层级连续无故障时长符合标准,10千伏指令执行一致性率接近满分,380伏因设备型号差异存在少量不一致情况。动态场景下,10千伏控制响应速度较快、指令执行时延短,380伏在光照突变与负荷峰谷切换场景下出力调整滞后,造成动态协同精度降低;跨层级协同在负荷突变场景下指令传递易出现短暂延迟,对整体响应产生影响。边界场景中,两类层级处于满负荷状态时指令执行精准、出力平滑;设备故障场景下,10千伏集群重构速度快,380伏因故障识别耗时较长导致自恢复时长增加;通信受限场景下,简化控制逻辑具备有效性,但信息反馈完整性降低,对调度决策形成影响。

5.2 协同控制策略的优化路径

策略算法维度,完善380伏层级集群控制单元的出力

预测逻辑,融合历史负荷数据与实时光照信息预判波动以降低调整滞后;优化10千伏层级指令分解逻辑,引入设备调节能力权重系数防范分配失衡。设备协同维度,针对380伏层级设备指令执行偏差,确立统一控制协议标准提升兼容性;强化10千伏与380伏层级集群协同机制,构建故障设备快速识别与替换模型,缩短380伏层级故障自恢复周;信息交互维度,优化数据传输格式采用轻量化协议降低带宽消耗,建立信息优先级传输规则;增加跨层级信息共享频次,支持10千伏主站实时获取380伏层级动态。提出分布式电源群调控方案,进行基态潮流校核、断面安全校核和关键设备安全校核。采取交集的方式将整体校核结果实时通过遥测转发至省调新能源AGC控制系统,再由省调新能源AGC系统进行闭环控制。实现对分布式电源的群调控,充分整合和挖掘分布式电源发电对电网的支撑潜力,对电网优化调控管理具有重要的意义^[5]。

6 结语

本文聚焦10千伏及380伏分布式光伏无AGC、依赖群调控的实际运行特征,构建包含控制响应、协同精度、运行稳定性的AGC协同控制评测体系,结合不同电压层级策略适配性评测及多场景验证,厘清当前协同控制的表现特征与现存问题;评测结果表明静态场景控制效果稳定,动态与边界场景仍需改进,所提算法、设备、信息交互优化路径能够切实提升协同控制效能。本次研究弥补无AGC分布式光伏控制评测领域的空白,为其并网控制优化提供技术方案,后续可依托新型通信技术与智能算法,持续完善评测体系与控制策略,为分布式光伏大规模并网后的配网稳定运行提供更坚实支撑。

参考文献

- [1] 崔柳,李成豪,谢赞,等.基于光伏发电预测的分布式协同电压控制方法[J].可再生能源,2025,43(08):1106-1113.
- [2] 王双,常晓慧,王川,等.分布式光伏接入地区电网有功功率的协同控制[J].国外电子测量技术,2025,44(04):59-64.
- [3] 钟宇杰,韩平平,徐在德,等.基于源网协同的分布式光伏逆变器电压稳定控制策略研究[J].江西电力,2025,49(01):33-37.
- [4] 赵泽渊,米春泉,常晓慧,等.基于光伏高渗透率的分布式光伏组件协同电压控制探讨[J].电子元件与材料,2025,44(02):208-214.
- [5] 周琦,袁宇波,张宸宇,等.分布式光伏直流汇聚接入拓扑及多级协同控制策略[J].供用电,2025,42(01):43-51.