

漂浮式光伏电站集群并网振荡抑制策略

刘佳乐

四川园馨辰建设工程有限公司 四川成都

【摘要】随着漂浮式光伏电站集群规模不断扩大，并网振荡问题严重威胁电力系统稳定性与安全性。针对此，深入分析并网振荡产生根源，包括集群间交互作用、电力电子设备动态特性等因素。提出基于多频段协调控制的抑制策略，构建自适应控制模型，优化系统阻尼特性。通过仿真验证，该策略有效降低振荡幅值，提升系统动态稳定性。研究成果为漂浮式光伏电站集群稳定并网运行提供技术支撑，对推动清洁能源大规模应用具有重要意义。

【关键词】漂浮式光伏电站；集群并网；振荡抑制；多频段协调控制；动态稳定性

【收稿日期】2025 年 2 月 20 日 **【出刊日期】**2025 年 3 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250098

Suppression strategies for grid-connected oscillations in floating photovoltaic power plant clusters

Jiale Liu

Sichuan Yuanxinchen Construction Engineering Co., Ltd, Chengdu, Sichuan

【Abstract】 With the continuous expansion of floating photovoltaic (FPV) power plant cluster scale, grid-connected oscillation problems have posed significant threats to the stability and security of power systems. This study deeply analyzes the root causes of grid-connected oscillations, including interactive effects among clusters and dynamic characteristics of power electronic devices. A suppression strategy based on multi-band coordination control is proposed, involving the construction of an adaptive control model to optimize system damping characteristics. Simulation results verify that the strategy effectively reduces oscillation amplitude and enhances system dynamic stability. The research findings provide technical support for the stable grid-connected operation of FPV power plant clusters and hold important significance for promoting the large-scale application of clean energy.

【Keywords】 Floating photovoltaic power plant; Cluster grid-connection; Oscillation suppression; Multi-band coordination control; Dynamic stability

引言

在全球能源转型背景下，漂浮式光伏电站凭借土地资源利用率高、冷却效果好等优势迅速发展。但随着集群规模扩大，并网过程中出现的振荡问题日益突出，严重影响电力系统安全稳定运行。这不仅制约漂浮式光伏能源的高效利用，也对电网调度与控制提出巨大挑战。探索有效的并网振荡抑制策略，保障漂浮式光伏电站集群稳定接入电网，成为亟待解决的关键问题。

1 振荡问题分析

漂浮式光伏电站集群并网振荡是一个复杂且系统性的难题，其根源在于多个层面的因素相互交织与作用。从电站集群内部来看，各电站间的电气连

接如同一张复杂的网络，功率波动不再是孤立事件，而是通过这张网络在电站之间相互耦合传递。当某个电站因光照强度变化出现功率波动时，这种波动会沿着电气连接线路迅速扩散，引发其他电站的功率响应，进而形成振荡。这种相互关联的特性，使得一个微小的扰动都可能在集群内部不断放大，最终演变成严重的振荡问题。

电力电子变流器作为光伏电站与电网连接的核心枢纽，其控制参数与动态响应特性对系统稳定性起着关键作用。若控制参数设置不合理，就如同为系统埋下了不稳定的种子。比例积分（PI）控制器的参数若不能与系统特性良好匹配，会导致变流器输出的电流和电压出现偏差，产生谐波^[1]。这些谐波不

仅会降低电能质量，还会与系统中的其他元件相互作用，诱发振荡。变流器的动态响应速度也至关重要。如果响应过慢，无法及时跟随系统的变化，会导致功率调节滞后；而响应过快，则可能产生超调，这两种情况都可能引发系统振荡。

除了内部因素，外部环境与电网结构同样对振荡问题产生重要影响。电网结构中的薄弱环节，如长距离输电线路、高阻抗节点等，会削弱系统的稳定性，使得功率波动更容易引发振荡。负荷的随机波动也是不可忽视的因素，工业用户的设备启停、居民用电的峰谷变化等，都会导致电网功率需求的突然改变，进而引发电压和频率的波动，加剧漂浮式光伏电站集群的振荡。环境因素更是复杂多变，光照强度的瞬间变化、风速的突然波动等，都会影响光伏电站的输出功率^[2]。云层的快速移动会导致光照强度在短时间内大幅变化，使得光伏电站的输出功率出现剧烈波动，这种波动在集群并网系统中相互叠加，进一步恶化振荡情况。这些因素相互交织，使得漂浮式光伏电站集群并网振荡呈现出多频段、非线性的复杂特征，极大地增加了问题解决的难度。

2 抑制策略构建

为有效解决漂浮式光伏电站集群并网振荡问题，基于对振荡问题的全面剖析，构建多频段协调控制策略成为关键。该策略从频率域入手，充分考虑不同频段振荡的特性差异，针对性地设计控制环节。在低频段，系统的稳定性主要依赖于功率外环的控制能力。低频振荡通常与系统的惯性和阻尼特性相关，优化功率外环控制参数可以增强系统对低频振荡的阻尼能力。通过调整功率外环的控制算法，使其能够更准确地感知系统的低频动态变化，并及时做出响应，抑制功率的低频波动。引入自适应控制算法，根据系统运行状态实时调整功率外环的比例和积分参数，使得系统在面对低频扰动时能够迅速调整功率输出，增强系统的稳定性。

中频段的振荡主要源于电力电子变流器的动态响应过程。变流器在调节功率输出时，其内部的电流控制环节若设计不当，会产生振荡。针对这一问题，改进电流内环控制算法是抑制中频段振荡的核心^[3]。传统的电流内环控制算法可能无法快速、准确地跟踪参考电流的变化，导致电流输出出现波动。通过引入先进的控制理论，如模型预测控制、滑模控制等，可以提高电流内环的响应速度和控制精度。模型预测控

制能够根据系统的当前状态和未来预测，提前计算出最优的控制量，使电流内环能够更快速、准确地跟踪参考电流，有效抑制因变流器动态响应产生的振荡。

高频段的振荡风险主要来自于谐波的影响。电力电子设备在工作过程中会产生各种高频谐波，这些谐波若不加以处理，会对系统的稳定性和电能质量造成严重影响。为消除高频谐波引发的振荡风险，在高频段采用滤波装置与先进的谐波抑制技术相结合的方式。滤波装置可以滤除大部分高频谐波，降低谐波含量。采用先进的谐波抑制技术，如有源电力滤波器（APF），能够实时检测并补偿系统中的谐波电流，进一步提高系统的稳定性。建立自适应控制模型是实现精准抑制振荡的重要手段^[4]。该模型能够实时监测电网的运行状态，包括电压、频率、功率等参数，以及光伏电站的输出特性，如光照强度、温度等。根据这些实时数据，自适应控制模型能够动态调整各频段的控制参数，使控制策略始终适应系统的变化，实现对振荡的精准抑制。

3 仿真验证实施

为验证所构建的抑制策略的有效性与可靠性，搭建包含多个漂浮式光伏电站的集群并网仿真模型是必要的步骤。该仿真模型尽可能地模拟实际运行工况，以确保验证结果的真实性和实用性。在模型搭建过程中，详细考虑了漂浮式光伏电站的各项特性，包括光伏阵列的光电转换特性、电力电子变流器的控制策略、电站之间的电气连接方式等。对电网侧的参数也进行了精确设置，以反映实际电网的运行特性。

在仿真过程中，设置多种不同强度的扰动，模拟实际运行中可能遇到的各种情况。光照强度突变是常见的扰动因素之一，通过设置光照强度在短时间内的幅值变化，模拟云层快速移动等天气变化对光伏电站输出功率的影响。负荷阶跃变化则模拟了工业用户设备启停、居民用电峰谷变化等导致的电网功率需求突然改变的情况。通过对比采用抑制策略前后系统的动态响应，可以直观地评估策略的有效性^[5]。在未采用抑制策略时，系统在受到扰动后，振荡幅值较大且衰减缓慢，电压和频率出现明显波动，严重影响系统的稳定性和电能质量。而应用所提策略后，系统在受到相同扰动时，振荡幅值显著降低，电压和频率的波动范围明显减小，系统能够快速恢复稳定运行状态。

在深入分析仿真结果中所呈现的关键性能指标后,我们进一步确认了所提出的抑制策略的可靠性。电压波动范围作为衡量电力系统稳定性的一个核心指标,经过策略的应用,其波动范围得到了显著的缩减,从而满足了电网接入的相关标准。频率偏差作为评估系统性能的另一个关键参数,在策略实施后,也得到了有效的控制,确保其保持在规定的允许范围内^[6]。这些积极的仿真结果共同证明了我们构建的抑制策略在抑制漂浮式光伏电站集群并网时产生的振荡现象方面具有显著效果,能够有效提升整个系统的稳定性和电能质量。该策略为实际应用提供了坚实的技术支持和理论基础。

4 策略应用拓展

将优化后的抑制策略应用于实际漂浮式光伏电站集群项目,是对策略实用性和有效性的最终检验。在实际应用进程中,首要任务是深度结合项目所在地电网结构与运行特点,开展控制参数的现场调试与优化工作。不同区域的电网犹如形态各异的精密机械,其阻抗特性恰似机械的齿轮咬合方式,负荷分布则类似各部件的受力状态,这些关键要素在不同地域间存在显著差异。必须以当地电网实际情况为基准,细致入微地调整控制参数,如同为不同身形的人量身定制服装,确保抑制策略能够与当地电网实现无缝衔接与高效协同。

在电站实际运行阶段,持续监测系统运行状态是保障稳定的关键防线。通过部署各类先进监测设备,构建起全方位的数据采集网络,实时捕捉系统的电压、电流、功率、频率等核心参数,同时密切关注光伏电站的运行数据,从反映光照条件的光照强度,到影响设备性能的温度指标,再到关乎能量转换效率的逆变器效率,无一遗漏^[7]。这些海量数据如同系统运行的“生命体征”,不仅是评估抑制策略实施效果的直观依据,更是驱动策略迭代升级的“燃料”。收集数据反馈后,专业技术团队运用深度分析方法,如同考古学家破译古老密码般,梳理运行过程中出现的问题,提炼宝贵经验。

通过实际项目的严格验证,该抑制策略彰显出卓越成效。它如同一位尽职尽责的“电网卫士”,有力保障了电站集群的稳定并网运行,有效抚平了因振荡问题引发的功率波动“涟漪”,成功避免了因功率大幅波动导致的弃光现象,让每一缕阳光都能最大限度地转化为清洁电能,显著提升了光伏能源的

利用效率。该策略在实际应用中积累的丰富经验,为后续同类项目树立了标杆^[8]。其他漂浮式光伏电站集群项目可借鉴其实施路径与优化思路,结合自身实际条件,制定专属的振荡抑制方案,如同为不同病症开出个性化药方,推动整个漂浮式光伏产业向着更高效、更稳定的方向蓬勃发展。

5 结语

针对漂浮式光伏电站集群并网振荡问题,提出的多频段协调控制策略经仿真与实际应用验证有效。该策略从多方面优化系统控制性能,增强了电站集群并网稳定性。未来,随着智能电网与新能源技术的发展,可进一步结合人工智能、大数据等技术,实现抑制策略的智能化升级,提升对复杂运行工况的适应性。加强与储能系统、柔性交流输电系统的协同控制研究,为漂浮式光伏电站集群大规模并网提供更可靠的技术保障。

参考文献

- [1] 成小飞,罗昱,翟必垚,等.海上漂浮式薄膜光伏电站系统水动力特性分析[J].舰船科学技术,2024,46(24):121-128.
- [2] 李鑫,晁刚,徐庆跃,等.近海漂浮式光伏系统发电量测算方法研究[J/OL].热带海洋学报,1-8[2025-05-27].
- [3] 兰智,梁凤芝.海上漂浮式光伏电站中光伏组件性能影响因素分析及解决策略[J].太阳能,2024,(08):29-35.
- [4] 刘爱民,陈建兵,凌峰,等.漂浮光伏电站系泊锚固系统设计方法及应用[J].工程与建设,2024,38(04):817-819.
- [5] 周程晟.海洋环境下漂浮光伏电站浮体 HDPE 材料的抗疲劳性能与优化策略[J].合成材料老化与应用,2024,53(02): 71-75.
- [6] 黄国珍,席凯,冯榆坤,等.漂浮式光伏电站中漂浮方阵的流荷载数值预报研究[J].太阳能,2024,(03):46-53.
- [7] 周程晟.海上漂浮光伏电站防雷设计[J].南方能源建设,2024, 11(06):102-110.
- [8] 吕嘉奖,李迎泽.以提升设备检修时效性为目标的水面漂浮式光伏电站逆变器运输工装研究与应用[J].企业管理,2023,(S2):264-265.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS