

光伏并网发电系统的控制策略与仿真分析

苏豫稼 左 华

河北科技学院, 河北 唐山 063200

摘要: 光伏并网发电作为清洁能源利用的一种主要方式, 其具有清洁、可再生的特点, 是我国转型发展的重要支撑。当前光伏并网发电系统受光照强度、环境温度等自然因素的影响, 导致光伏并网发电系统存在输出功率波动大、并网电能质量差、系统运行稳定性不高等问题, 不利于光伏并网发电的规模应用。控制策略是提高光伏并网发电系统性能的关键环节, 结合仿真分析, 可有效验证控制策略的有效性, 为系统实操提供可靠保障。聚焦光伏并网发电实操场景, 弱化理论推导, 以系统核心控制策略设计、参数调试为主, 通过仿真分析验证控制效果、优化控制参数, 使得系统输出功率稳定、并网电能质量高。实践表明, 优化后的控制策略能够有效抑制功率波动, 提高并网电能质量和系统运行稳定性, 仿真分析能够有效复刻系统运行状态, 为控制策略优化和系统实操提供可靠参考, 推动光伏并网发电的规模应用。

关键词: 光伏并网发电系统; 控制策略; 仿真分析; 功率稳定; 电能质量

0 引言

光伏并网发电系统包括光伏组件、逆变器、控制器、并网接口等, 以太阳光能并网为目标, 将清洁能源有效利用。目前光伏并网发电系统应用领域越来越广泛, 但仍存在各种问题。自然环境的不确定性导致光伏组件输出功率波动大, 光照强度和环境温度的变化直接影响输出功率, 使并网电能质量下降, 不利于电网的稳定运行; 有些系统控制策略设计不合理, 功率调节和控制机制不能及时跟踪环境变化, 导致系统运行效率下降, 出现并网失败、脱网等故障; 有些系统缺乏合理的仿真分析, 控制策略的优化依赖于现场调试, 在增加调试成本和难度的同时, 不能够保证控制效果的稳定性, 不适合大规模光伏并网。

1 光伏并网发电系统控制需求与价值

1.1 光伏并网发电系统的核心控制需求

根据光伏并网发电系统的实际运行工况及电网接入要求, 控制方案要以功率稳定、电能质量、并网同步、故障防控四个方面为基本要求。其中, 功率稳定需要控制光伏组件输出功率的变化, 使得系统输出功率保持稳定, 避免受环境影响、加速系统的运行; 电能质量需要控制并网电能的电压、频率、相位与谐波含量, 使之满足电网接入要求。并网同步需要控制光伏系统输出电能与电网电能的同步, 使得系统并网稳定, 避免由于并网冲击引起系统故障和电网波动; 故障防控需要控制系统故障的检测和处置, 当系统出现过压、过流、脱网等故障时, 及时切断并网链路, 保护系统设备、电网安全, 提高系统可靠性。

1.2 控制策略与仿真分析的实操价值

控制策略和仿真分析是提升光伏并网发电系统性能的有效途径, 具有较强的实操可行性。控制策略能够调节系统各环节的运行参数, 抑制功率波动, 提高电能质量, 保证并网和稳定运行, 提高系统运行效率和故障发生率。仿真分析能够在不搭建实际系统的条件下模拟光伏并网发电系统的运行状态, 模拟不同条件、不同控制参数下的系统运行状态, 快速验证控制策略是否有效, 节省现场调试的时间。通过仿真分析可以找出控制策略中的不足, 提高控制参数和控制逻辑, 提高控制策略的适用性和可靠性, 避免现场调试出现的各种问题。通过仿真分析可以实现光伏并网发电系统的精确控制、高效运行, 为光伏并网发电系统实操落地、升级改造提供可靠的支撑, 推动光伏并网发电技术规模化发展。

2 光伏并网发电系统的控制基础

2.1 光伏并网发电系统的核心构成

光伏并网发电系统包括光伏组件、逆变器、最大功率点跟踪模块、并网接口与控制系统。光伏组件是将太阳能转化为直流电的主体。其输出功率与光照强度、环境温度有关, 属于非线性输出。逆变器是由光伏组件输出的直流电转换成交流电, 负责功率调节, 并网同步, 直接影响并网电能质量。最大功率点跟踪模块可以跟踪光伏组件最大功率输出点, 使得在不同环境下光伏组件处于最优工作状态。并网接口用于光伏系统连接电网, 完成输出电压、频率、相位等的匹配, 并网稳定。控制系统是对系统的核心, 通过设置控制方案, 控制逆变器、最大功率点跟踪模块等设备的工作参数, 保证系

统平稳运行和精准并网。

2.2 控制策略的核心设计原则

光伏并网发电控制策略设计应遵循实操性、稳定性、精准性、适配性四个方面原则。实操性要求控制策略设计更多依赖于实践运行，避免理论推导的复杂性，控制逻辑简单可行，控制策略可快速落地，便于运维。稳定性要求控制策略具有较强抗干扰能力，控制策略能够适应光照、温度等条件的变化，避免出现控制失灵、参数漂移等现象，确保系统长期稳定；精准性要求控制策略能够调节系统运行参数，最大功率点跟踪、并网参数配合精准，输出功率稳定，电能质量达标；适配性要求控制策略能够适应不同规模、不同类型光伏并网发电系统，能够根据系统和电网的要求，适应系统参数的变化、逻辑的改变，不需要大规模改变系统结构。

2.3 仿真分析的核心要求与工具适配

光伏并网发电系统仿真分析要满足精准、贴合、高效的基本要求，使仿真结果能够真实反映系统运行状态。精准要求仿真模型能够真实仿真系统各组件的工作性能，能够模拟在不同情况下的系统运行，使仿真数据与实际运行数据减小偏差；贴合要求仿真分析要贴近实际的控制要求，着眼于对控制方案的验证优化，不是脱离实际进行的理论仿真。高效要求仿真工具具备建模、仿真和分析等功能，能够快速完成仿真建模、参数设置和结果分析。仿真工具的选择要能够贴合光伏并网实际情况，可以使用具有光伏组件、逆变器等模型库的仿真软件，支持控制方案的建模与验证，能够真实的模拟并网过程和系统运行状态，能够为控制方案的优化提供仿真支持。

3 光伏并网发电系统的核心控制策略设计

3.1 最大功率点跟踪控制策略

最大功率点跟踪控制是光伏并网发电系统的核心控制过程，是指光伏组件在不同光照、温度下始终处于最大功率输出点，提高能量利用效率。根据采集的光伏组件输出电压与电流，计算出当前的输出功率与不同工作点的功率差异，不断改变光伏组件工作电压，以此实现对光伏组件的跟踪。控制过程中，采用动态跟踪能力强、跟踪准确率高的控制算法，避免因环境变化引起的跟踪滞后或震荡，可在光照、温度剧烈变化时，快速捕捉到最大功率点，并在控制过程中加入功率波动抑制逻辑，输出功率变化过大时，适当调整控制参数，减缓功率变化速度，以免对后期逆变器、并网发电产生冲击。

3.2 逆变器并网控制策略

逆变器并网控制是光伏电能平稳并网的重要环节，控制逆变器输出交流电与电网电能电压、频率、相位相匹配的，使其能达到要求的并网电能。该控制分为电压控制和频率控制，电压控制通过改变逆变器输出电压幅值使之与电网电压相匹配，避免电压偏差引发并网冲击；频率控制通过锁定电网频率控制，控制逆变器输出频率与电网频率同步，避免频率偏差引发并网冲击；谐波抑制控制通过优化逆变器控制逻辑，减少输出电流中的谐波含量，使并网电能的谐波含量达到电网接入要求。并网过程要平滑，避免并网瞬间发生冲击，保护逆变器和电网设备，平稳、可靠。

3.3 系统稳定与故障防控控制策略

系统稳定与故障防控控制策略。保持光伏并网发电系统的长期稳定，避免系统由于故障对系统和电网造成损失，通过对系统各环节运行参数、光伏组件输出电压电流、逆变器运行状态、并网电压频率等进行采集。检测到参数异常如过压、过流、频率偏差过大等，需要及时切断并网链路，停止系统运行，保护设备。设计功率波动缓冲逻辑，当光伏组件输出功率剧烈变化时，通过逆变器储能环节或功率调节环节，缓冲功率波动，保证系统输出功率平稳，避免对电网造成冲击；在故障发生后，需记录故障信息，为故障排查和恢复提供依据。

4 光伏并网发电系统的仿真分析与实操优化

4.1 仿真模型的搭建与参数设置

仿真模型搭建是开展仿真分析的基础，仿真模型需要结合光伏并网发电系统的特点，重新设计各组件的工作性能，使仿真模型更加符合实际系统。根据不同仿真软件，搭建光伏组件、逆变器、最大功率点跟踪模块、并网接口等组件的仿真模型，参考实际系统参数设置组件参数，如光伏组件额定功率、开路电压、短路电流，逆变器额定容量、转换效率等。参数设置必须紧密结合实际运行工况，参照光伏并网系统的一般参数范围，使仿真模型能够真实反映实际的系统运行。搭建控制策略仿真模型，将第三章设计的最大功率点跟踪、逆变器并网、故障防控等控制逻辑引入仿真模型，设置控制参数，保证控制策略正常运行，为仿真分析及参数优化打下基础。

4.2 不同工况下的仿真分析与验证

仿真要模拟不同环境工况和运行场景，验证控制策略有效性和系统运行稳定性。模拟光

照强度变化工况,设置光照强度参数仿真光伏组件输出功率变化,验证最大功率点跟踪控制策略的跟踪效果,能否快速锁定最大功率点,抑制功率波动;模拟环境温度变化工况,分析温度对光伏组件输出特性和系统运行的影响,验证控制策略能否适应温度变化,保持系统输出功率稳定;模拟并网运行工况,仿真逆变器并网控制效果,检测并网电压、频率、相位匹配度,验证谐波抑制效果,保证并网电能质量。通过仿真分析记录系统运行数据,对比预定指标,验证控制策略的适配性和有效性,找出控制策略的不足。

4.3 基于仿真结果的控制策略优化

基于仿真分析结果,针对性优化控制策略参数与控制逻辑,提升系统运行性能。根据仿真中发现问题,如最大功率点跟踪滞后、并网参数偏差、功率波动过大等,调整相应的控制参数,例如优化最大功率点跟踪算法的响应速度,调整逆变器并网控制的电压、频率调节系数。对于仿真中出现的控制逻辑漏洞,如故障防控不及时、功率缓冲效果不佳等,优化控制逻辑,完善故障检测与处置流程,增强功率波动缓冲能力。优化过程中,通过多次仿真验证,对比优化前后的系统运行数据,确保优化后的控制策略能够有效提升系统运行稳定性、功率输出稳定性与并网电能质量。同时,结合实操需求,优化控制参数的设置范围,确保控制策略能够适配实际运行中的环境波动,便于现场调试与运维。

4.4 仿真与实操的衔接要点

仿真分析的最终目的是为实操落地提供支撑,需做好仿真与实操的衔接,确保仿真优化后的控制策略能够顺利应用于实际系统。仿真

模型的参数设置需与实际系统保持一致,避免仿真与实操脱节,仿真过程中需模拟实际运行中的各类干扰因素,确保仿真结果具备参考价值。基于仿真优化后的控制策略,制定详细的现场调试方案,明确调试步骤、参数调整范围与验证标准,确保现场调试能够快速推进。现场调试过程中,对比实操数据与仿真数据,分析偏差产生的原因,针对性调整控制参数,使控制策略完全适配实际系统。同时,将实操中发现的问题反馈至仿真模型,进一步优化仿真模型与控制策略,形成仿真与实操的闭环优化,提升控制策略的实操性与可靠性。

5 结论

控制策略与仿真分析是提升光伏并网发电系统运行性能、推动其规模化应用的关键,能够有效破解系统运行中功率波动大、并网电能质量差、稳定性不足等痛点。通过设计科学合理的最大功率点跟踪、逆变器并网、系统稳定与故障防控控制策略,可实现光伏组件能量的高效利用、电能的平稳并网与系统的长期稳定运行。仿真分析能够精准复刻系统运行状态,快速验证控制策略的有效性,定位控制策略中的不足,为控制策略优化提供可靠支撑,减少现场调试的成本与周期,提升控制策略的实操性。优化后的控制策略可有效抑制功率波动,提升并网电能质量与系统运行稳定性,仿真与实操的闭环优化的能够确保控制策略贴合实际运行需求,适配不同环境工况。该研究聚焦光伏并网实操场景,少理论重应用,控制策略设计与仿真分析贴合实际,为光伏并网发电系统的控制优化、实操落地提供了可靠参考,助力清洁能源的高效利用与能源结构转型。

参考文献:

- [1] 魏卿,王迪扬,黄佳,等.基于高效建模技术的新能源并网发电系统谐振抑制研究[J].电气技术与经济,2026,(02):159-162.
- [2] 龙彦君,刘乐邦.基于MATLAB/simulink仿真提出改进式AFDPF检测法[J].电气技术与经济,2026,(01):395-399.
- [3] 郑礼,闫光辉,汤春阳.太阳能光伏发电并网中工频变压器局部放电定位研究[J].太阳能学报,2025,46(12):178-185.
- [4] 于森,郭德军,刘忠涛,等.光热汽轮发电机组全工况动态特性仿真平台[J/OL].节能技术,2026,(01):39-43[2026-03-21].

作者简介: 苏豫稼(2003.04—),男,汉,河北省秦皇岛市,本科,研究方向:电气工程及其自动化。