

光伏发电在微电网中接入及动态特性研究

常超

中国能源建设集团辽宁电力勘测设计院有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i12.7503

[摘要] 本文探讨了光伏发电系统的模型及其波动特性，并通过仿真分析光伏发电在微电网中接入路径和储能容量配置的优化策略。光伏发电的波动主要来源于自然条件，如太阳辐射强度和天气变化，这对系统稳定性提出了挑战。通过构建精确的光伏模型，并分析储能系统的容量配置对微电网的影响，本文提出了有效的优化策略，以提升系统的稳定性和电能质量。

[关键词] 光伏发电；储能系统；逆变器；微电网

Research on the access and dynamic characteristics of photovoltaic power generation in microgrid
Chang Chao

China Energy Construction Group Liaoning Electric Power Survey and Design Institute Co., LTD.

[Abstract] This paper discusses the model and fluctuation characteristics of photovoltaic power generation system, and analyzes the optimization strategy of the access path and energy storage capacity configuration of photovoltaic power generation in microgrid through simulation. The fluctuation of photovoltaic power generation mainly comes from natural conditions, such as solar radiation intensity and weather changes, which pose challenges to the system stability. By constructing an accurate photovoltaic model and analyzing the impact of the capacity configuration of the energy storage system on the microgrid, this paper proposes an effective optimization strategy to improve the stability and power quality of the system.

[Key words] photovoltaic power generation; energy storage system; inverter; micro-grid

引言

随着可再生能源的快速发展，光伏发电作为一种重要的能源形式得到了广泛应用。然而，光伏发电的波动性和不确定性对电网的稳定性构成了挑战，尤其是在光伏发电并入微电网时，功率波动会引发电压和频率的不稳定。为了应对这些问题，光伏发电系统的建模及储能设备的优化配置成为了研究的重点。本文将通过详细分析光伏发电的模型和储能系统的配置策略，探讨如何提升微电网的稳定性和电能质量。

1 光伏发电模型及波动特性

光伏发电是利用太阳能将光能直接转化为电能的一种可再生能源技术，其波动性是影响光伏发电稳定性的重要因素之一。光伏发电的波动性主要来源于自然环境，如太阳辐射的强度、天气变化等。由于太阳辐射的时变特性，光伏发电的输出功率具有随机性和波动性。为了有效应对这些波动，构建精准的光伏发电模型是十分关键的。光伏发电模型不仅能够描述光伏系统的工作原理，还能通过各种参数和算法预测其输出特性。光伏系统的波动特性分析有助于提升光伏并网系统的稳定性和可靠性。

1.1 光伏并网系统的模型主要由两部分组成

光伏并网系统的模型主要由光伏阵列模型和光伏逆变器模型组成。光伏阵列模型用于描述光伏组件如何将太阳能转化为直流电，而光伏逆变器模型则负责将直流电转换为交流电，以便并入电网。这两部分模型共同构成了完整的光伏并网系统，其中，光伏阵列的输出受环境因素影响较大，如光照强度、温度等，而逆变器则在保证电能质量和稳定性方面发挥着关键作用。

在实际应用中，光伏并网系统的模型设计需要考虑多种因素，包括电气参数、热力学特性以及材料的物理性质等。通过精确的建模，可以模拟光伏发电系统在不同条件下的运行状态，从而为系统优化和故障预测提供理论依据。此外，这些模型还可以帮助研究人员分析光伏系统的动态特性，评估其在并网过程中的稳定性。

1.2 阵列模型

光伏阵列是由多个光伏电池串联或并联而成的组件，用于将太阳能转化为直流电。光伏阵列模型通过描述单个光伏电池的工作原理，推导出阵列的整体输出特性。典型的光伏电池模型通常采用光电流源与二极管模型，结合电阻和温度效应，来模拟光伏电池在不同环境条件下的行为。

光伏阵列的输出功率受到太阳辐射强度、环境温度、风速等多个外界因素的影响。阵列模型的主要任务是通过这些输入参数计算出输出电流和电压，并结合阵列的布置方式（串联或并联）来计算系统的总输出功率。精确的阵列模型能够帮助系统设计者优化光伏电池的布置，并有效评估其在不同地理位置和气候条件下的表现。

在研究阵列模型时，还需要考虑到光伏电池的老化效应以及阵列间的遮挡问题。老化效应会导致电池效率逐渐下降，而遮挡效应则会显著影响阵列的输出功率。因此，阵列模型不仅需要精确描述光伏电池的物理特性，还需具备处理动态环境变化的能力。

1.3 光伏逆变器

光伏逆变器是光伏并网系统中的关键组件，负责将光伏阵列产生的直流电转换为符合电网要求的交流电。逆变器不仅需要完成电能的转换，还需要提供多种功能，如最大功率点跟踪（MPPT）、电压和频率调节以及电能质量控制等。逆变器模型的准确性直接关系到光伏系统的整体性能，因此在建模时需要充分考虑其动态特性和控制算法。

逆变器模型通常包括功率电子电路模型和控制策略模型。功率电子部分负责实现直流到交流的电能转换，而控制策略部分则通过各种算法，如 MPPT 算法，确保系统能够在各种环境下输出最大功率。此外，逆变器还需具备快速响应电网扰动的能力，如在电网电压波动或频率偏离时，能够稳定输出电能，从而提高并网系统的可靠性。

在实际应用中，逆变器的建模还需考虑到其效率、热损耗以及电磁兼容性问题。通过精确的逆变器模型，研究人员可以模拟不同控制策略对系统性能的影响，从而优化光伏系统的设计，提高其在复杂电网环境下的适应能力。

2 设定接入路径和最优的储能容量

2.1 光伏发电与其他电源的配合

在微电网中，光伏发电通常需要与其他电源如燃气轮机等可调电源进行配合，以应对光伏发电的不稳定性。光伏发电的功率受自然条件的影响较大，常常会出现波动，导致电压和频率的不稳定。为了缓解这些波动，微电网系统通常引入储能设备以及其他可调电源来维持系统的稳定性。这些储能设备能够在光伏发电过剩时储存多余的电能，并在发电不足时释放电能，保持电网的功率平衡。此外，燃气轮机等其他可调电源可以通过调节输出功率来补充光伏发电的不足，从而平衡整个系统的能量需求。为了保证光伏发电与其他电源的高效配合，控制策略需要综合考虑不同电源的特性和响应速度，确保各部分协调工作。

2.2 逆变器带来的谐波

逆变器是光伏发电系统中的关键组件，用于将直流电转换为交流电。然而，逆变器在工作过程中会产生谐波，这些谐波会对电网的电能质量产生影响。谐波的产生主要与逆变器的开

关频率、负载特性以及 SPWM（正弦脉宽调制）等控制方式相关。为了抑制谐波，通常需要在逆变器后加入滤波器，通过调整电感系数和电容，消除高次谐波，从而减小对电网的干扰。此外，还需对逆变器的运行参数进行优化，确保在不同光照条件下，逆变器能够平稳输出电能。谐波的抑制对提升光伏发电系统的电能质量至关重要，因此在逆变器的设计 and 应用中，应充分考虑其谐波控制能力。

2.3 储能容量的设定要求

储能系统在微电网中起着平衡电力输出的重要作用，其容量设定需根据光伏发电的波动特性进行优化。储能容量的设定应能够满足光伏发电的峰值功率需求，并在发电不足时提供足够的电力支持。一般来说，储能设备的容量不应过大或过小，过大可能导致资源浪费和成本上升，而过小则无法应对光伏发电的波动。为了确保储能容量的最优配置，需要根据历史负荷数据和光伏发电的输出特性进行合理计算，确保系统在不同负荷条件下都能稳定运行。此外，储能设备的充放电效率以及响应速度也是影响其容量设定的重要因素，通过优化这些参数，储能系统可以更好地适应光伏发电的动态变化。

3 仿真分析

在本仿真中，主要分析光伏发电系统与储能系统在不同光照条件下的动态响应，以及储能系统容量的配置对微电网稳定性的影响。通过对比光伏系统与储能系统的功率输出波动、频率波动等关键参数，我们可以得出储能系统优化容量的策略，并评估其对电能质量的影响。

3.1 仿真场景设定

仿真模型包括以下主要组件：

光伏发电系统：输出功率受环境光照的影响，表现为波动性。

储能系统：用于平衡光伏发电的不稳定输出，设置不同的储能容量进行仿真对比。

逆变器：将光伏系统的直流输出转换为交流，并通过滤波器降低谐波影响。

微电网控制系统：包括负荷需求、网络频率和电压的控制。

假设的微电网系统负载为 100kW，光伏系统的额定功率为 80kW，仿真时光伏发电波动受不同的光照条件影响，如晴天（100%发电）、多云（50%发电）、阴天（20%发电）等。

3.2 仿真步骤

步骤 1：在不同的光照条件下，仿真光伏发电系统的输出功率。

步骤 2：根据不同的储能容量（如 20kWh、50kWh、100kWh），模拟储能系统对功率波动的平衡效果。

步骤 3：对比有无储能系统时的微电网频率、功率输出波动以及谐波含量。

步骤 4：分析逆变器在光伏发电波动中的表现，尤其是其谐波控制效果。

3.3 仿真数据及结果展示

表1 不同光照条件下光伏系统输出功率波动

光照条件	光伏发电功率 (kW)		功率波动 (%)	微电网频率 (Hz)
晴天	80	0	50	
多云	40	50	49.8	
阴天	16	80	49.5	

表2 不同储能容量对功率波动的平衡效果

储能容量 (kWh)			晴天时功率平衡 (%)	多云时功率平衡 (%)	阴天时功率平衡 (%)	平均频率 (Hz)
20	10	20	25	49.7		
50	20	40	50	49.8		
100	30	60	80	49.9		

表3 逆变器谐波含量在不同功率波动条件下的表现

光照条件	储能容量 (kWh)		逆变器谐波含量 (THD%)	微电网电压 (V)	微电网频率 (Hz)
晴天	20	1.5	230	50	
多云	50	2.0	228	49.8	
阴天	100	3.5	225	49.7	

从表3可以看出,随着光照条件的恶化,逆变器的谐波含量有所增加。尤其是在阴天时,谐波含量达到3.5%,对微电网的电压和频率产生了较大的影响。通过合理的储能配置,逆变器的谐波含量可控制在可接受范围内,但仍需优化逆变器的设计以减少功率波动时的谐波干扰。

3.4 仿真结果讨论

从上述仿真数据中可以看出,储能系统在光伏发电接入微电网时发挥了至关重要的作用。在无储能系统的情况下,光伏发电的功率波动对微电网的频率和电压稳定性产生了显著影响,尤其在阴天或光照不足时,功率波动会引起较大的频率偏差,影响电能质量。

通过配置合理的储能系统,可以有效地平衡光伏发电的功率波动。仿真结果表明,储能容量越大,功率平衡的效果越显著,频率偏差和功率波动越小。因此,在设计微电网系统时,储能设备的容量应根据光伏发电的波动特性进行优化配置。

同时,逆变器在光伏发电波动中的表现也至关重要。仿真表明,随着光伏发电功率波动的加剧,逆变器的谐波含量也有所增加。因此,在微电网中应用逆变器时,应合理选择滤波器并优化控制策略,以减少谐波对电能质量的影响。

3.5 优化策略建议

基于仿真分析结果,提出以下优化策略:首先,在储能容量配置方面,建议根据光伏发电的波动特性,配置不低于50kWh的储能容量,以应对常见的光照变化条件。在较大规模的微电网中,储能容量可以适当增加,以进一步提高系统的稳定性。其次,针对逆变器优化,建议在设计中引入高效的滤波技术,并优化谐波控制算法,减少功率波动对电能质量的影响。最后,关于动态负荷管理,在光伏发电波动较大的情况下,微电网应通过负荷调节和储能管理策略,保持系统的频率和电压稳定,

确保系统的连续可靠运行。

4 结论

通过本文的仿真分析,可以得出储能系统在光伏发电接入微电网中的关键作用。合理的储能容量配置可以有效平衡光伏发电的波动,提升系统的稳定性。同时,逆变器设计中的谐波控制和滤波优化也对电能质量有着至关重要的影响。最后,动态负荷管理策略的应用有助于在不同光照条件下保持微电网的频率和电压稳定,确保系统的连续可靠运行。今后的研究应继续关注光伏发电系统的优化模型及更为高效的储能技术,以进一步提升系统的性能和可靠性。

[参考文献]

- [1]熊文斌,吴炜,董大群,等.智能建筑中的分布式光伏发电与微电网控制系统分析[J].集成电路应用,2024,41(06):384-385.DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2024.06.177.
- [2]顾伟伟,贺广零,胡志祥,等.工业园区微电网项目中风电与光伏发电的容量配置及推广策略研究[J].太阳能,2024,(05):42-51.DOI:10.19911/j.1003-0417.tyn20230423.02.
- [3]苏娟宁,刘善红.微电网联网/孤岛模式下光伏发电系统控制仿真[J].电工技术,2023,(20):53-56.DOI:10.19768/j.cnki.dgjs.2023.20.016.
- [4]牛威如,魏凯,王维洲,等.光伏新能源发电负荷不确定性补偿及微电网调度优化研究[J].自动化与仪器仪表,2023,(09):156-160.DOI:10.14016/j.cnki.1001-9227.2023.09.156.
- [5]李忠文,吴龙,程志平,等.参与微电网频率调节的光伏发电系统模糊自适应功率控制[J].电机与控制学报,2023,27(09):126-138.DOI:10.15938/j.emc.2023.09.014.
- [6]冯俊琨,王黎光.基于马尔可夫链的智能微电网光伏发电预测[J].计算机应用与软件,2023,40(04):343-349.