

风电-光伏-储能综合能源系统的设计与优化

于萌 姜仕玉 韩贵古勒 刘鑫

华能新能源股份有限公司蒙东分公司 内蒙古 通辽 028000

摘要: 本文全面探讨了风电-光伏-储能综合能源系统的设计与优化。系统由风力发电、光伏发电、储能及智能控制四大核心部分组成,通过能量的转换、存储与智能调度,实现了高效、稳定的能源供应。设计部分详细阐述了发电系统、储能系统及智能监控与管理中心的关键要素与设计原则。此外,文章还深入分析了电力电子变流设备、系统拓扑结构及能量管理系统等关键技术及设备选型,为综合能源系统的构建与优化提供了理论与实践指导。

关键词: 风电;光伏;储能综合能源;设计与优化

1 风电-光伏-储能综合能源系统概述

1.1 系统组成与结构

风电-光伏-储能综合能源系统主要由风力发电系统、光伏发电系统、储能系统以及智能控制系统四大核心部分组成。风力发电系统通过风力发电机将风能转化为电能;光伏发电系统则利用光伏组件将太阳能转换为电能。这两大发电系统共同构成了系统的电源侧。储能系统,通常由电池组、超级电容器或抽水蓄能等组成,负责存储多余的电能,并在需求高峰或发电不足时释放电能,以维持系统的稳定运行。智能控制系统则作为整个系统的“大脑”,负责监控各部分的运行状态,实现能量的智能调度与优化管理。这些组成部分通过复杂的电网架构和先进的通信技术紧密相连,共同构成一个高效、灵活的综合能源系统^[1]。

1.2 系统工作原理

风电-光伏-储能综合能源系统的工作原理基于能量的转换、存储与调度。在发电阶段,风力发电机利用风力驱动转子旋转,进而带动发电机产生电能;同时,光伏组件则通过光电效应将太阳光直接转换为电能。这两部分产生的电能首先进入智能控制系统进行监控与初步处理,随后根据电网需求和储能状态进行分配。当电网需求低于发电量时,多余的电能将被送入储能系统进行存储;而当电网需求高于发电量或发电系统出现故障时,储能系统将释放电能以补充电网缺口。智能控制系统在整个过程中不断收集并分析各种数据,动态调整发电与储能策略,确保系统高效、稳定运行。

1.3 系统特点与优势

风电-光伏-储能综合能源系统具有鲜明的特点与显著的优势。首先,该系统结合了风能、太阳能这两种可再生能源,具有资源分布广泛、环境友好、可持续利用等特点。其次,通过储能系统的引入,有效解决了可再生

能源发电间歇性与不稳定性问题,提高了能源利用效率与电网稳定性。另外,智能控制系统的应用使得系统能够实现远程监控、智能调度与故障预警,大大降低了运维成本与风险。

2 风电-光伏-储能综合能源系统设计

2.1 发电系统设计

发电系统是综合能源系统的基石,主要包括风力发电系统和光伏发电系统两大部分。设计时应充分考虑地理位置、气候条件、资源分布等因素,以实现最大化利用自然资源的目标。风力发电系统设计需依据当地风速分布特性选择合适的风力发电机组类型和容量。例如,在风速较高且稳定的地区,可采用大型风力发电机以提高发电效率;而在风速较低或变化较大的区域,则可能需要选用适应性强、启动风速低的小型或中型风力发电机。另外,风机的布局需通过风资源评估软件模拟优化,避免尾流效应导致的能量损失,并确保风机间的安全距离。为了提高系统的可靠性和灵活性,风力发电系统还应配备先进的控制系统,能够根据风速变化自动调节桨距角和转速,优化输出功率;光伏发电系统设计则侧重于光伏组件的选择、阵列布局及跟踪技术的应用。高效的光伏组件能够提升光电转换效率,而合理的阵列布局和角度调整可以最大化接收太阳辐射。

2.2 储能系统设计

储能系统是平衡供需、平滑输出、提高能源系统整体灵活性的关键环节。在设计储能系统时,需综合考虑储能技术的成熟度、成本效益、循环寿命、安全性以及系统需求等多方面因素。储能技术选择主要包括锂离子电池、钠硫电池、液流电池、压缩空气储能等。锂离子电池因其高能量密度、长循环寿命和良好的环境适应性而广泛应用于分布式储能项目中。对于大规模储能需求,液流电池和压缩空气储能等技术也展现出巨大潜力^[2]。在

确定储能容量时,需基于历史发电数据、负荷预测及电网调度需求进行精确计算,确保既能满足削峰填谷、应急备用等需求,又不造成过度投资。储能管理系统是储能系统的“大脑”,负责监控电池状态、优化充放电策略、保护电池安全。它应具备智能调度功能,能够根据电网状态、天气预报及用户需求自动调整储能充放电计划,实现能源的高效利用。同时,储能管理系统还需具备远程监控、故障预警及自我诊断能力,确保系统的稳定运行。

2.3 智能监控与管理中心设计

智能监控与管理中心是综合能源系统的中枢,负责数据采集、分析决策、远程控制等功能,是实现系统智能化、自动化的核心。数据采集与监控通过部署各类传感器、智能仪表及远程终端单元(RTU),实时采集风电、光伏、储能系统及电网的各项运行参数,包括但不限于发电量、储能状态、电网电压电流等。这些数据通过高速通信网络汇聚至管理中心,为系统运行状态监测、故障诊断及性能优化提供基础。数据分析与决策支持利用大数据、云计算、人工智能等技术,对采集的数据进行深度挖掘和分析,识别能源生产消费规律,预测未来趋势。基于这些分析结果,智能管理系统能够自动生成最优的发电计划、储能调度策略及电网互动方案,实现能源的高效配置和利用;远程控制与自动化响应管理中心应具备强大的远程控制能力,能够根据分析结果自动调整系统运行状态,如调节风力发电机输出功率、切换光伏阵列跟踪模式、控制储能充放电等。同时,系统还需设计有应急响应机制,在电网故障或极端天气条件下,能够迅速切换至孤岛运行模式,保障关键负荷供电,确保系统安全稳定运行。

3 风电-光伏-储能综合能源系统优化

3.1 优化目标与方法

综合能源系统优化的首要目标是提高能源利用效率,确保系统在各种工况下都能稳定运行,同时降低运营成本,提升整体经济效益。为实现这一目标,需采用多种优化方法,包括但不限于数学建模、仿真分析、智能算法等。数学建模通过建立系统的物理和数学模型,明确各组件间的相互作用关系,为优化提供理论基础。仿真分析则利用计算机模拟技术,对系统在不同条件下的运行情况进行预测和评估,为优化策略的制定提供依据^[3]。智能算法,如遗传算法、粒子群算法等,则能够自动搜索最优解,提高优化效率和准确性。

3.2 运行策略优化

运行策略的优化是提升综合能源系统性能的关键。

这包括发电策略、储能策略、以及电网互动策略的优化。在发电策略上,应根据风电、光伏的实时发电能力和预测数据,动态调整各发电单元的出力,实现能源的最大化利用。储能策略的优化则涉及储能设备的充放电管理,需根据电网需求、电价波动及可再生能源发电情况,制定合理的充放电计划,以平衡供需、降低电网压力。电网互动策略的优化则要求系统能够与电网进行智能互动,如参与电网调峰、频率调节等,提高电网的稳定性和可靠性。

3.3 设备选型与拓扑结构优化

设备选型与拓扑结构的优化对于提高综合能源系统的效率和可靠性至关重要。在设备选型上,应综合考虑设备的性能参数、成本、维护费用及使用寿命等因素,选择最适合系统需求的设备。例如,在风电系统中,应根据风速分布特性选择风力发电机型号;在光伏系统中,则需根据光照条件选择光伏组件类型和功率。

3.4 经济性分析

经济性分析是综合能源系统优化不可或缺的一环。在建设成本方面,需考虑设备购置费、安装调试费及土地费用等。运营成本则包括设备运行维护费、人员工资及能源消耗等。收益则主要来源于售电收入、政府补贴及节能减排带来的环境效益等。通过经济性分析,可以明确系统的投资效益,为优化策略的制定提供经济依据。同时,经济性分析还有助于发现系统优化中的潜在问题,如成本过高、收益不足等,从而指导后续的优化工作。

4 风电-光伏-储能系统的关键技术及设备选型

4.1 电力电子变流设备

电力电子变流设备是风电-光伏-储能系统中的关键组件,它们负责将不同形式的电能转换为系统所需的直流或交流电能。在风电系统中,风力发电机发出的电能通常需要通过变流器转换为符合电网要求的交流电能;在光伏系统中,光伏组件产生的直流电能也需要通过逆变器转换为交流电能以供使用或并网;储能系统中的电池组在充放电过程中同样需要电力电子变流设备的支持,以实现电能的转换和控制;电力电子变流设备的关键技术包括高效变换技术、软开关技术、谐波抑制技术以及智能控制技术。高效变换技术旨在提高电能转换效率,减少能量损耗;软开关技术则能够降低开关过程中的电磁干扰和噪声,延长设备使用寿命;谐波抑制技术用于减少电能转换过程中产生的谐波污染,确保电网的纯净和稳定;智能控制技术则通过实时监测和控制变流设备的运行状态,实现系统的自动化和智能化管理;在设备

选型方面,需考虑设备的功率等级、转换效率、谐波含量、保护功能以及通信接口等因素^[4]。功率等级需与系统容量相匹配,确保设备能够满足系统的电能转换需求;转换效率越高,则能量损耗越小,系统的整体效率也越高;谐波含量需控制在允许范围内,以避免对电网造成污染;保护功能则包括过流、过压、欠压等保护,确保设备在异常情况下能够安全停机;通信接口则用于实现设备与系统监控中心的远程通信和数据传输。

4.2 系统拓扑结构

系统拓扑结构是指风电-光伏-储能系统中各组件之间的连接方式。合理的拓扑结构能够降低系统损耗,提高能源利用效率,同时增强系统的稳定性和可靠性。常见的系统拓扑结构包括集中式拓扑、分布式拓扑以及混合拓扑等。集中式拓扑将风电、光伏以及储能设备集中连接到一台或多台大功率变流器上,通过统一的电能管理实现系统的运行和控制。这种结构具有结构简单、管理方便等优点,但也可能存在单点故障风险。分布式拓扑则将各发电单元和储能设备分别连接到各自的变流器上,通过局部控制实现系统的分散运行。这种结构能够提高系统的灵活性和可靠性,但也可能增加系统的复杂性和成本。混合拓扑则是集中式拓扑和分布式拓扑的结合体,既保留了集中式拓扑的简洁性,又吸收了分布式拓扑的灵活性;在拓扑结构选型时,需综合考虑系统的规模、容量、地理位置、气候条件以及电网要求等因素。对于大规模、集中式的风电或光伏电站,集中式拓扑可能更为合适;而对于分布式、小型的发电单元,分布式拓扑则可能更具优势。

4.3 能量管理系统

能量管理系统是风电-光伏-储能系统的“大脑”,负责实时监测和控制系统的运行状态,实现能源的智能化管理和优化调度。它通过采集风电、光伏、储能以及电网的实时数据,进行数据分析、预测和决策,从而制定出最优的能源利用方案。能量管理系统的关键技术包括数据采集与处理技术、预测与优化算法、智能控制策略以及远程通信技术^[5]。数据采集与处理技术用于实现系统

各组件数据的实时采集、处理和存储;预测与优化算法则基于历史数据和实时信息,对系统的发电能力、储能状态以及电网需求进行预测和优化;智能控制策略则根据预测结果和调度指令,自动调整各发电单元和储能设备的运行状态;远程通信技术则用于实现系统监控中心与现场设备之间的远程通信和数据传输。在能量管理系统的选型时,需关注系统的实时性、准确性、可靠性以及可扩展性等方面。实时性要求系统能够迅速响应各种变化,确保系统的稳定运行;准确性则要求系统能够提供准确的数据和分析结果,为优化调度提供可靠依据;可靠性则要求系统在各种异常情况下都能保持正常运行,确保系统的安全性和稳定性;可扩展性则要求系统能够方便地增加新的功能和设备,以适应未来能源系统的发展需求。

结束语

综上所述,风电-光伏-储能综合能源系统的设计与优化是推动能源结构转型、实现绿色发展的重要途径。通过本文的探讨,深入了解了系统的组成、工作原理及特点优势,还掌握了设计与优化的关键技术和方法。未来,随着新能源技术的不断进步和智能算法的广泛应用,风电-光伏-储能综合能源系统将更加高效、智能和可持续。期待这一领域能够不断创新和发展,为构建清洁、低碳、安全、高效的能源体系贡献力量。

参考文献

- [1]张静.碳中和背景下的多种形式新能源发电系统构建与研究[J].应用能源技术,2022,(05):51-53.
- [2]章佳,龙建平.一种考虑弃光率的大型光伏电站储能配置模型研究[J].广西电力,2022,45(01):33-41.
- [3]唐芳纯.储能在新能源中的应用分析[J].电子世界,2021,(10):25-26.
- [4]徐一斌,何琪.分析储能技术在光伏电站并网中的应用研究[J].电气技术与经济,2023(9):65-67.
- [5]关新,吴世玮,解雨琪,等.研究储能技术在新能源电力系统中的应用分析[J].蓄电池,2023(4):181-182.