

风电、光伏、储能混合系统的能量管理与优化调度

岳 瑞 刘 涛 尚晓龙 李彦芝

华能(甘肃)新能源有限公司 甘肃 兰州 730000

摘 要: 风电光伏储能混合系统集成风力发电、太阳能光伏发电和储能技术,通过能量转换装置和控制系统实现高效能量管理。系统核心组成包括风力发电机组、太阳能光伏阵列、储能装置等。在功率平衡、优化控制和经济调度策略下,系统能够适应可再生能源的间歇性和波动性,提高能源利用效率和经济效益。针对不同运行场景,如独立运行、并网运行和微电网运行,系统需采取合理的能量管理和优化调度策略。通过精确预测发电功率、实时监测负载需求、优化储能装置充放电策略等,系统可实现稳定运行和能源高效利用,降低运行成本,提高市场竞争力。

关键词: 风电光伏; 储能混合系统; 能量管理; 优化调度

引言: 随着可再生能源的快速发展,风电光伏储能混合系统作为一种高效、灵活的能源利用方式,受到了广泛关注。该系统通过集成风力发电、太阳能光伏发电和储能技术,实现了能源的互补与优化调度。系统核心构成包括风力发电机组、太阳能光伏阵列、储能装置、能量转换装置及控制系统,各部分相互协作,共同维持系统的稳定运行。然而,风电和光伏的间歇性和波动性给系统的能量管理带来了挑战。因此,研究风电光伏储能混合系统的能量管理策略和优化调度方法显得尤为重要。本文旨在深入探讨系统的基本组成和工作原理,分析不同场景下的运行特点,并提出有效的能量管理策略和优化调度方法,以提高系统的能源利用效率、稳定性和经济效益,为风电光伏储能混合系统的广泛应用提供理论支持和实践指导。

1 风电光伏储能混合系统的基本组成和工作原理

1.1 系统组成

风电光伏储能混合系统的核心构成包括风力发电机组、太阳能光伏阵列、储能装置、能量转换装置以及控制系统。(1) 风力发电机组是系统中的重要发电设备,它利用风力驱动叶片旋转,进而带动发电机发电,将风能转化为电能。风力发电机组的选型和设计需充分考虑当地的风资源状况,以确保发电效率和稳定性。(2) 太阳能光伏阵列则是由多个光伏电池组件串联或并联而成的集合体,它能够将太阳能直接转换为电能。光伏电池组件的转换效率、耐候性以及使用寿命等性能指标,直接关系到整个光伏阵列的发电性能 and 经济效益。(3) 储能装置,如电池储能系统,是风电光伏储能混合系统中不可或缺的部分。它能够在系统发电过剩时储存电能,并在发电不足时释放电能,以平衡供需关系。储能装置的选择需考虑其能量密度、充放电效率、循环寿命以及

安全性等因素。(4) 能量转换装置,如逆变器、变流器等,负责实现不同形式电能之间的转换。它们能够将风力发电机组和太阳能光伏阵列产生的直流电转换为交流电,以满足负载的用电需求。同时,它们还能够实现电能的电压、频率等参数的调节,提高系统的灵活性和适应性。(5) 控制系统则是整个系统的重要组成部分。它负责实时监测系统的运行状态,包括风力、光照强度、储能装置电量等参数,并根据这些参数对系统的发电、储能、放电等过程进行精确控制和优化调度。控制系统的智能化程度直接关系到系统的运行效率 and 经济效益。

1.2 工作原理

风电光伏储能混合系统的工作原理基于可再生能源的互补性和储能技术的调节性。在风力资源丰富且光照充足的情况下,风力发电机组和太阳能光伏阵列同时发电,产生的电能一部分直接供给负载使用,另一部分则通过能量转换装置存储到储能装置中。(1) 当风力减弱或光照不足时,储能装置开始释放储存的电能,以补充发电不足,确保负载的连续供电。如果储能装置的电量不足,且可再生能源发电无法满足负载需求,系统则可以从电网购电,以保证电力供应的稳定性。(2) 系统还具备智能调度功能。当电网的电价较低时,系统可以从电网购电并存储到储能装置中;在电价较高时,系统则释放储能装置中的电能供给负载或售电给电网,以实现经济效益的最大化。这种智能调度策略不仅提高了系统的经济性,还有助于优化电网的负荷分布和电力供需平衡^[1]。

2 风电光伏储能混合系统的能量管理策略

2.1 功率平衡策略

功率平衡是风电光伏储能混合系统能量管理的核心目标。由于风电和光伏的输出功率受天气条件影响,具有显著的间歇性和波动性,这对系统的稳定运行构成了

挑战。为了实现功率平衡,系统需要实时监测可再生能源的发电功率和负载功率,并通过储能装置的充放电控制进行调节。具体来说,当可再生能源发电功率大于负载功率时,系统会将多余的电能储存到储能装置中,以避免电能的浪费。相反,当可再生能源发电功率小于负载功率时,储能装置会释放储存的电能,以补充发电不足,确保负载的连续供电。通过合理控制储能装置的充放电功率,系统能够有效平滑风电和光伏的功率波动,提高系统的稳定性和可靠性。

2.2 优化控制策略

为了进一步提高系统的能源利用效率和经济效益,需要采用优化控制策略对风电光伏储能混合系统进行能量管理。模型预测控制是一种有效的优化控制方法,它通过建立系统的预测模型,预测未来一段时间内的可再生能源发电功率、负载功率等关键参数,然后根据预测结果制定最优的能量管理策略。此外,模糊控制也是一种常用的优化控制策略。它根据系统的运行状态和经验规则,通过模糊推理实现对储能装置的充放电控制,具有较强的鲁棒性和适应性。另外,智能算法优化(如遗传算法、粒子群优化算法等)能够在复杂的约束条件下,搜索最优的能量管理方案,实现系统的最优运行。这些优化控制策略的应用,可以显著提高系统的能源利用效率和经济效益。

2.3 经济调度策略

经济调度是风电光伏储能混合系统能量管理的重要内容之一。在满足系统功率平衡和稳定性要求的前提下,通过合理安排风电、光伏和储能的发电和用电计划,可以降低系统的运行成本,提高经济效益。具体来说,系统可以根据电网的电价政策和可再生能源的发电成本,优化储能装置的充放电时间和功率。例如,在电价较低时充电,在电价较高时放电,实现电能的存储和释放与电价的匹配,降低用电成本。同时,系统还可以参与电网的辅助服务市场,如调频、调峰等,获取额外的经济收益。这些经济调度策略的应用,可以进一步提升风电光伏储能混合系统的经济效益和市场竞争能力^[2]。

3 风电光伏储能混合系统的优化调度方法

3.1 基于数学模型的优化调度

基于数学模型的优化调度方法是通过建立风电光伏储能混合系统的精确数学模型,将复杂的能量管理问题转化为一个可求解的优化问题。这种方法的核心在于数学模型的准确性和优化算法的有效性。(1)线性规划模型是其中最为基础且应用广泛的一种。在风电光伏储能混合系统中,当约束条件和目标函数均为线性时,线性

规划模型能够快速求解出最优的调度方案。然而,实际系统中的许多问题和约束往往是非线性的,这就需要采用非线性规划模型。非线性规划模型能够处理更为复杂的约束条件和目标函数,但求解过程相对复杂,需要借助高效的数值算法。(2)混合整数规划模型在处理包含整数变量(如设备的启停状态、储能装置的充放电状态等)的优化问题时具有显著优势。通过引入整数变量,混合整数规划模型能够更准确地描述系统的实际运行状态,从而求解出更符合实际需求的调度方案。(3)在建立数学模型后,选择合适的优化算法进行求解是至关重要的。常用的优化算法包括单纯形法、内点法、分支定界法等。这些算法各有优缺点,需要根据具体问题的特点和求解要求进行选择。

3.2 基于智能算法的优化调度

智能算法,如遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法等,具有良好的全局搜索能力和自适应能力,能够在复杂的搜索空间中找到较优的解。在风电光伏储能混合系统的优化调度中,智能算法的应用日益广泛。

(1)遗传算法通过模拟生物进化过程中的遗传和变异机制,对调度方案进行迭代优化,逐渐逼近最优解。粒子群优化算法则通过模拟鸟群觅食行为,利用群体智慧实现对最优解的搜索。模拟退火算法基于物理退火原理,通过引入随机因素避免陷入局部最优解,从而找到全局最优解。(2)智能算法在处理大规模、复杂的优化问题时具有明显的优势。它们能够处理非线性、非凸、多模态等复杂问题,提高系统的优化调度效果。同时,智能算法还具有良好的鲁棒性和自适应性,能够适应系统参数和运行状态的变化。

3.3 多目标优化调度

风电光伏储能混合系统的优化调度通常涉及多个目标,如能源利用效率、系统稳定性、经济效益等。这些目标之间往往存在相互冲突和制约的关系,需要采用多目标优化调度方法进行权衡。(1)多目标优化调度方法旨在同时优化多个目标,找到满足多个目标要求的最优解或Pareto最优解集。加权求和法是一种常用的多目标优化方法,通过给不同目标赋予不同的权重,将多目标优化问题转化为单目标优化问题进行求解。然而,这种方法需要事先确定权重的取值,具有一定的主观性。(2) ϵ -约束法则是将其中一个目标作为约束条件,优化其他目标。这种方法能够更灵活地处理不同目标之间的权衡关系,但需要选择合适的 ϵ 值以确保解的有效性。多目标遗传算法则能够直接处理多个目标,搜索Pareto最优解集。这种方法不需要事先确定权重或 ϵ 值,能够更全面地

考虑不同目标之间的相互影响和制约关系。通过多目标优化调度,可以在不同目标之间进行权衡,实现系统的综合性能最优^[3]。

4 不同场景下风电光伏储能混合系统的运行分析

4.1 独立运行场景

在偏远地区或离网场景下,风电光伏储能混合系统通常独立运行,为当地负载提供电力供应。这种场景下,系统面临的主要挑战在于可再生能源发电的间歇性和波动性以及负载需求的不确定性。为了应对这些挑战,系统需要采取合理的能量管理和优化调度策略。

(1)通过精确预测风电和光伏的发电功率,结合负载需求的实时监测,系统可以优化储能装置的充放电策略。在可再生能源发电过剩时,储能装置充电以储存多余电能;在发电不足时,储能装置放电以补充电力供应。这样不仅可以提高系统的自给自足能力,还能增强系统的可靠性。(2)系统的配置优化也是关键。通过增加储能容量、提高风电和光伏的装机容量等措施,系统可以更好地适应不同的负载需求和运行条件。同时,合理的系统设计和设备选型也能降低系统的运行成本和维护难度。

4.2 并网运行场景

在并网运行场景下,风电光伏储能混合系统与电网相连,既可以向电网供电,也可以从电网购电。这种场景下,系统的能量管理和优化调度需要考虑电网的约束条件和电价政策。系统与电网的协调运行是实现可再生能源最大消纳的关键。在可再生能源发电过剩时,系统可以将多余的电能存储到储能装置中或售电给电网;在发电不足时,系统可以从电网购电以满足负载需求。通过与电网的互动,系统可以降低对传统能源的依赖,提高电网的稳定性和可靠性。同时,系统还需要根据电价政策制定合理的充放电策略。在电价较低时充电,电价较高时放电或售电,以实现经济效益的最大化。

4.3 微电网运行场景

微电网是一种由分布式电源、储能装置、负载等组成的小型电力系统。风电光伏储能混合系统作为微电网

的重要组成部分,在微电网运行场景下需要考虑内部各组成部分之间的协调运行以及与大电网的互动。通过合理的能量管理和优化调度策略,系统可以实现微电网的稳定运行和能源的高效利用。在微电网孤岛运行时,储能装置起到关键的调节作用,保证微电网内的功率平衡和稳定运行。在并网运行时,系统需要与大电网进行功率交换,根据电价政策和负载需求制定合理的充放电和购电策略,以实现经济效益的最大化^[4]。

结束语

风电光伏储能混合系统作为新能源领域的重要技术,其组成复杂、工作原理独特,能量管理策略和优化调度方法多样。通过精确的系统组成设计和工作原理分析,我们能够深入理解系统的运行机制和特点。在不同场景下,系统面临着不同的挑战和机遇,需要采取合理的能量管理和优化调度策略来应对。无论是独立运行、并网运行还是微电网运行场景,系统都需要充分考虑可再生能源的间歇性和波动性、负载需求的不确定性以及电网的约束条件和电价政策等因素。通过不断优化系统的配置、提高预测和控制精度、采用智能算法和多目标优化方法等手段,我们可以进一步提高系统的稳定性、可靠性和经济效益,推动风电光伏储能混合系统的广泛应用和发展。

参考文献

- [1]魏远,张欢畅,黄正勇,等.面向风电光伏并网的储能容量配置频谱分析方法[J].南方电网技术,2019,13(3):12-17.
- [2]孙秀娟,张鹏飞,卞晓雪.计及多类型需求响应的光伏微网储能容量优化配置[J].科学技术与工程,2019,19(9):108-114.
- [3]雷勇,林晓冬.超导磁储能-蓄电池混合储能系统在平抑风电场功率波动中的应用[J].高电压技术,2019,0(3):983-992.
- [4]茹雪艳,何凯.超导磁储能装置抑制风电并网功率波动的探索[J].佳木斯大学学报:自然科学版,2021,39(4):51-54.