

光储并网系统中能量均衡控制器设计与优化研究

韩冬 曲洁 来晓帅 耿浩文 杜星虎

国网山东省电力公司东营供电公司 山东 东营 257092

摘要: 本文聚焦于光储并网系统中能量均衡控制器的设计与优化研究,旨在提升系统整体的稳定性、效率和经济效益。光储并网系统通过将光伏发电与储能技术相结合,不仅有效缓解了电力供需矛盾,还促进了可再生能源的广泛利用。然而,该系统的稳定运行与高效能量管理面临诸多挑战,如光伏发电的间歇性和波动性、储能设备的充放电管理等。具体而言,本文首先建立了光储并网系统的数学模型,详细分析了光伏发电单元、储能装置及并网逆变器的运行特性。随后,基于模型分析,设计了一种高效的能量均衡控制器,该控制器能够实时监测系统的功率需求与储能状态,实现光伏发电与储能系统的协调运行。

关键词: 光储并网系统; 能量均衡控制器; 设计; 优化

引言: 随着全球能源需求的不断增长和环境保护意识的日益增强,可再生能源的开发与利用已成为各国政府和国际社会关注的焦点。光伏发电作为最具代表性的可再生能源之一,因其清洁、可再生、分布广泛等优势而备受青睐。然而,光伏发电的间歇性和波动性给电力系统的稳定运行带来了巨大挑战。为此,将光伏发电与储能技术相结合,构建光储并网系统,成为解决这一问题的有效途径。

光储并网系统通过储能装置将光伏发电的多余电能储存起来,在电力需求高峰时释放,从而实现对电网的灵活调度和高效利用。然而,光储并网系统的稳定运行与高效能量管理依赖于先进的控制技术。其中,能量均衡控制器作为系统的核心部件,负责监测系统的功率需求、储能状态及光伏发电情况,并据此制定合理的充放电策略,以确保系统的稳定运行和高效能量利用。

1 能量均衡控制器在该系统中的关键作用

能量均衡控制器在光储并网系统中扮演着至关重要的角色。作为系统的大脑,它负责实时监控并精准调节光伏发电与储能系统之间的能量流动,确保整个系统在各种工况下都能维持稳定的运行状态。面对光伏发电的间歇性与不稳定性,能量均衡控制器通过先进的控制算法,有效平抑了光伏出力的波动,保障了电网的稳定供电。同时,它还优化了储能系统的充放电策略,确保储能设备在高效利用的同时,避免了过充过放等不利工况,延长了设备的使用寿命。此外,能量均衡控制器还具备快速响应和自适应能力,能够迅速应对系统内外部的突发变化,如负荷波动、电网故障等,确保系统安全稳定运行。因此,能量均衡控制器是光储并网系统中不可或缺的关键组件,对于提升系统整体性能、优化能源

利用具有重大意义。

2 光储并网系统概述

2.1 系统构成

光储并网系统主要由光伏阵列、储能装置、逆变器等组成。光伏阵列是系统的能量来源,利用太阳能将光能转化为电能。储能装置通常包括电池组等,可在光伏发电充足时储存多余电能,在发电不足时释放电能以维持系统稳定。逆变器则负责将光伏阵列产生的直流电或储能装置输出的直流电转换为交流电,以便与电网连接实现并网供电。这些组成部分相互协作,共同构成了光储并网系统,为实现可持续能源利用提供了有效途径。

2.2 工作原理

光储并网系统的工作流程包含多个环节。首先,光伏阵列接收太阳能并进行光电转换产生直流电。当产生的电能超过系统需求时,多余电能可存储到储能装置中。而当光伏发电量不足时,储能装置则释放电能以补充系统供电。逆变器将直流电转换为符合电网要求的交流电后实现并网,向电网输送电能或从电网获取电能以维持系统平衡。在整个过程中,系统通过智能控制不断调整各部分的运行状态,以确保高效、稳定地进行能量转换和传输。

2.3 能量管理挑战

光储并网系统面临着诸多能量管理挑战。一方面,光伏发电具有间歇性,受天气、时间等因素影响较大,导致系统输出功率不稳定,难以持续满足负荷需求。另一方面,储能系统的效率与成本是关键问题。提高储能效率能提升系统性能,但往往伴随着较高的技术成本。此外,如何合理协调光伏发电、储能和并网之间的关系,实现能量的优化分配和高效利用,也是一个复杂

的挑战。同时,还需考虑储能装置的寿命、安全性等问题,以确保系统的长期稳定运行。

3 能量均衡控制器设计原则与目标

3.1 设计原则能量均衡控制器的设计应遵循一系列原则。高效性是关键,确保控制器能够快速响应系统变化,高效地进行能量分配和调控,减少能量损耗和浪费。稳定性要求控制器在各种工况下都能保持系统的稳定运行,避免因能量波动而导致系统崩溃或不稳定。灵活性则使控制器能够适应不同的光储并网系统配置和运行环境,可根据实际需求进行调整和优化。此外,还应考虑可靠性,保证控制器长期可靠运行,减少故障发生的概率。同时,智能化原则也不可或缺,利用先进的算法和技术,实现自动优化和智能决策。

3.2 设计目标能量均衡控制器的设计目标明确且多元。首先,要实现能量精准调控,确保系统中能量的流动和分配精确无误,满足不同负荷需求。优化储能利用是另一重要目标,通过合理控制储能装置的充放电,提高储能效率,延长储能寿命,充分发挥储能系统在系统中的作用。提高系统经济性也是关键,在保证系统性能的前提下,降低系统建设和运行成本,提高能源利用效率,实现经济效益最大化。此外,还应致力于提高系统的可靠性和稳定性,减少系统故障和停机时间,为用户提供持续稳定的电力供应。同时,要适应未来能源发展的趋势,具备可扩展性和兼容性,便于与其他能源系统集成。

4 能量均衡控制器设计

4.1 需求分析

能量均衡控制器在光储并网系统中有着明确的功能需求。首先,需要平滑光伏发电波动,由于光伏发电受天气等因素影响,输出功率不稳定,控制器应能及时调整储能系统的充放电状态,确保系统输出功率的平稳性。其次,优化储能系统充放电策略至关重要,在不同的发电和用电工况下,合理安排储能系统的充放电时机和功率大小,以提高储能系统的效率和寿命。同时,维持系统电压稳定也是关键需求,保证系统在各种运行状态下都能为用户提供稳定的电压,防止电压波动对设备造成损坏。此外,还应具备故障检测和处理功能,及时发现并解决系统中的问题,确保系统的安全可靠运行。

4.2 架构设计

能量均衡控制器的总体架构包括硬件平台选择与软件算法设计。在硬件平台方面,应选择性能稳定、可靠性高的处理器和传感器,以满足实时控制的要求。同时,要考虑硬件的扩展性和兼容性,便于后续的升级和维护。在软件算法设计方面,应采用先进的控制算法和

优化策略,实现对光储并网系统的精准控制。软件架构应具有良好的模块化设计,便于功能扩展和维护。此外,还应考虑人机交互界面的设计,方便用户对系统进行监控和管理。

4.3 算法设计

(1) 基于模型预测控制的算法设计

基于模型预测控制的算法可以有效地平抑光伏出力波动并提高系统抗干扰能力。该算法通过建立系统的数学模型,预测未来一段时间内的系统状态,并根据预测结果进行控制决策。通过不断调整控制输入,使系统的输出尽可能接近预期目标。在光储并网系统中,该算法可以根据光伏出力的预测值和负荷需求,提前调整储能系统的充放电功率,以平滑光伏出力波动。同时,该算法还可以对系统中的干扰进行快速响应,提高系统的抗干扰能力。

(2) 储能系统优化配置策略研究

通过数学建模与仿真分析,可以确定最优储能配置方案。首先,建立储能系统的数学模型,考虑储能容量、充放电功率、效率等因素。然后,根据光储并网系统的运行需求和约束条件,建立优化目标函数,如最小化系统成本、最大化系统可靠性等。通过仿真分析不同储能配置方案下的系统性能,采用优化算法求解最优配置方案。最优储能配置方案可以提高储能系统的利用效率,降低系统成本,同时保证系统的稳定运行。

(3) 模糊控制算法设计

设计模糊控制算法可以根据储能单元的运行状态动态调节功率分配,以延长设备使用寿命。模糊控制算法不依赖于精确的数学模型,而是通过模糊推理和决策来实现控制。首先,确定模糊控制的输入变量和输出变量,如储能单元的荷电状态、充放电功率等。然后,制定模糊规则,根据输入变量的不同状态确定输出变量的取值范围。在光储并网系统中,该算法可以根据储能单元的运行状态实时调整功率分配,避免储能单元过充过放,延长设备使用寿命。同时,模糊控制算法还可以适应系统的动态变化,提高系统的鲁棒性。

5 能量均衡控制器优化

5.1 参数优化

在能量均衡控制器中,关键参数的优化调整至关重要。对于滤波器时间参数的优化,可根据系统的动态响应要求进行精细调整。若时间参数过小,可能导致滤波效果不佳,无法有效滤除噪声和干扰;若时间参数过大,则会使系统响应变慢,影响控制的及时性。对于功率分配比例的优化,需要综合考虑光伏发电的输出功

率、储能系统的容量和状态以及负荷需求等因素。通过合理调整功率分配比例,可以实现能量的高效利用和均衡分配,提高系统的整体性能。此外,还可以对其他关键参数进行优化,如控制算法的增益系数等,以进一步提升控制效果。

5.2 性能评估

通过仿真实验或实际测试,可以全面评估能量均衡控制器的性能表现。在稳定性方面,观察系统在不同工况下是否能够保持稳定运行,避免出现振荡或失稳现象。响应速度是衡量控制器性能的重要指标之一,快速的响应能够及时应对系统中的变化,确保能量的均衡分配。能效比反映了控制器在实现能量均衡的同时,对能源的利用效率。通过对这些性能指标的评估,可以准确了解控制器的优势和不足,为进一步优化提供依据。同时,还可以对比不同控制策略下的性能表现,为选择最优控制策略提供参考。

5.3 策略优化

根据性能评估结果,对控制策略进行迭代优化。如果发现系统在某些工况下稳定性不足,可以调整控制算法中的参数或增加稳定性控制环节。对于响应速度较慢的问题,可以优化算法的计算效率或采用更先进的控制技术。若能效比不理想,可以进一步优化功率分配策略,提高能源利用效率。通过不断地迭代优化,确保控制器在不同工况下均能保持良好的性能。同时,还应关注系统的可扩展性和适应性,以便在未来面对新的应用场景和需求时,能够快速进行调整和优化。

6 能量均衡控制器的可靠性与安全性设计

6.1 可靠性分析

在能量均衡控制器的运行过程中,可能面临多种风险因素。首先,硬件故障是一个重要风险,如传感器失灵、处理器损坏等,可能导致控制器无法准确获取系统状态信息或无法正常执行控制算法。其次,软件错误也可能影响控制器的可靠性,如算法漏洞、程序崩溃等。此外,外部环境干扰,如电磁干扰、温度变化等,也可能影响控制器的性能和稳定性。为提高控制器的可靠性,可以采取以下保障措施。一是选用高质量、高可靠性的硬件设备,并进行严格的质量检测和筛选。二是对软件进行充分的测试和验证,确保算法的正确性和稳定性。同时,采用冗余设计,如双处理器、备用传感器

等,当主设备出现故障时,备用设备能够及时接替工作。此外,还可以加强对外部环境的防护,如采用屏蔽措施减少电磁干扰,采用散热装置应对温度变化等。

6.2 安全性设计

为确保在故障或异常情况下能够迅速响应并保障系统安全,需要设计完善的控制器安全机制。一方面,应设置故障检测与诊断功能,实时监测系统的运行状态,一旦发现故障或异常,能够及时发出警报并确定故障类型和位置。例如,可以通过监测电压、电流、功率等参数的变化来判断系统是否正常运行。另一方面,制定紧急响应策略,当出现严重故障时,控制器能够迅速采取措施,如切断故障部分与系统的连接、启动备用电源等,以防止故障扩大并保障系统的安全。同时,还应考虑安全防护措施,如过压保护、过流保护、短路保护等,以防止系统因外部因素而受到损坏。此外,对控制器的操作权限进行严格管理,防止未经授权的人员对系统进行误操作。

结语

综上所述,光储并网系统中能量均衡控制器的设计与优化研究具有重要的现实意义。通过对光储并网系统的构成、工作原理及面临的挑战进行分析,明确了能量均衡控制器的设计原则和目标。在设计过程中,从需求分析、架构设计到算法设计,全面考虑了系统的稳定性、高效性和灵活性。经过参数优化、性能评估和策略优化,不断提升控制器的性能。同时,注重可靠性与安全性设计,确保系统在各种情况下都能稳定运行。未来,随着技术的不断进步,光储并网系统将在能源领域发挥更大的作用,而能量均衡控制器的研究也将不断深入,为实现可持续能源发展提供有力支持。

参考文献

- [1]王志强,李晓华.分布式光储系统能量管理策略优化研究[J].电力系统自动化,2024,48(5):123-130.
- [2]张丽萍,陈伟杰.光储并网系统协同控制技术研究[J].可再生能源,2024,36(2):245-252.
- [3]赵明辉,刘海涛.储能技术在光储并网系统中的应用与优化[J].储能科学与技术,2024,13(1):156-163.
- [4]李娜,杨帆.光储并网系统稳定性分析与控制策略研究[J].电网技术,2024,48(6):1987-1995.