

Analysis of Coordinated Operation Mechanisms for Power Electronic Control Devices in New Energy Grid Integration Systems

Chenxiao Fan

Zibo Magao Education Technology Co., Ltd., Zibo, Shandong, 255200, China

Abstract

With the rapid development of renewable energy, particularly the widespread application of wind and solar power, the efficient and safe integration of these sources into the power grid has become a major challenge for power systems. Power electronic control devices (such as converters and inverters) play a critical role in new energy grid integration systems, and their coordinated operation mechanisms directly impact the stability and efficiency of power systems. This paper analyzes the coordinated operation mechanisms of power electronic control devices in new energy grid integration systems, explores their working principles, challenges, and control strategies, and proposes optimization solutions. Through an analysis of existing technologies, this study provides theoretical support and technical references for the further development of new energy grid integration systems.

Keywords

New energy grid connection; Power electronic control device; Converter

新能源并网系统中电力电子控制装置的协调运行机制分析

范陈晓

淄博码高教育科技有限公司, 中国·山东 淄博 255200

摘要

随着新能源的迅速发展,尤其是风能和太阳能等可再生能源的广泛应用,如何将其高效且安全地并入电网成为了电力系统面临的重大挑战。电力电子控制装置(如变流器、逆变器等)在新能源并网系统中扮演着至关重要的角色,其协调运行机制直接影响着电力系统的稳定性与高效性。本文分析了电力电子控制装置在新能源并网系统中的协调运行机制,探讨了其工作原理、面临的挑战及控制策略,并提出了一些优化解决方案。通过对现有技术的分析,本文为新能源并网系统的进一步发展提供了理论支持和技术参考。

关键词

新能源并网; 电力电子控制装置; 变流器

1 引言

随着全球能源结构的转型和低碳经济的推进,新能源(如风能、太阳能等)的开发与利用已成为能源领域的核心方向。然而,新能源的波动性和间歇性特征给电力系统的稳定性带来了诸多挑战。电力电子控制装置,特别是变流器和逆变器,在新能源并网系统中起着至关重要的作用,它们通过控制电力的流向和质量,确保新能源的有效并网,并避免对传统电力系统造成影响。尽管这些装置已被广泛应用于新能源并网中,但其协调运行机制仍存在不少技术难题。本文将深入探讨电力电子控制装置的协调运行机制,分析其工作原理、面临的挑战及优化策略,并提出有效的解决方案,推

动新能源并网系统的高效稳定运行。

2 电力电子控制装置在新能源并网中的作用

2.1 变流器的功能与作用

变流器是新能源并网系统的关键设备之一,主要负责将风力或太阳能发电产生的直流电转换为交流电,并确保其能够与电网同步。变流器通过调节输出的频率、幅值和相位,使其电力符合电网的要求,从而确保发电与电网之间的稳定并网。在并网过程中,变流器不仅仅是电力转换的装置,还起到了电力质量调节的作用。例如,它可以进行无功功率补偿,确保电网的电压稳定,并能滤除发电过程中产生的谐波,减少电力传输中的波动与干扰。此外,变流器的动态响应能力在新能源并网系统中至关重要。尤其在新能源发电量发生快速波动时,变流器能够迅速调节其输出功率,确保电网的功率平衡,避免频率波动对电网运行造成的不利影响。

【作者简介】范陈晓(1991-),女,中国山东淄博人,从事电力工程研究。

2.2 逆变器的工作原理与应用

逆变器的功能与变流器类似，主要负责将光伏板或风力发电机产生的直流电转换为交流电，并将其与电网的频率与电压同步。逆变器的高效运行对提高新能源并网系统的稳定性和电网质量至关重要。在新能源并网过程中，逆变器不仅需要完成电力的转换，还必须具备强大的功率调节能力，尤其是在电网频率发生波动或新能源发电功率出现变化时，逆变器能够根据电网需求实时调整输出功率。逆变器在电网稳定性维持中起着关键作用，它通过精确调节输出功率，确保电网负载平衡，避免由于发电波动或电网不稳定而引发系统故障。因此，逆变器在确保电力系统的高效运行和长期稳定中具有不可替代的作用。

2.3 电力电子装置的协同运行机制

电力电子控制装置的协同运行是确保新能源并网系统高效稳定的核心。多个电力电子装置需在不同发电单元之间协调工作，通过调节功率输出、无功补偿和频率控制等方式，实现电网负载的合理分配并维持系统的稳定性。协同机制的设计要求电力电子装置能够相互协调，避免因功率输出不均衡或反应滞后而导致系统不稳定。为此，装置间必须通过精细化调度和控制策略，确保每个装置在并网过程中都能发挥最佳性能，及时应对电网负载波动和新能源发电的变化。此外，协调机制还包括了电力电子装置的实时监测与数据交互，以便快速调整工作状态，确保电网稳定运行。因此，完善的电力电子装置协同控制策略对于保证新能源并网系统的稳定性与可靠性至关重要。

3 电力电子控制装置的协调控制策略

3.1 控制算法的应用

现代电力电子控制装置依赖精确的控制算法来确保电网的稳定性与协调性。传统的PID控制方法虽然在许多应用中有效，但在应对新能源并网系统中的快速波动和不确定性时已显不足。因此，基于模型的控制方法，如模型预测控制(MPC)和模糊控制等，逐渐成为新能源并网控制领域的主流。MPC能够考虑系统的动态响应特性，基于实时数据预测未来状态，并对控制策略进行优化，从而减少能耗并提高响应速度。模糊控制则特别适用于处理系统中的非线性和不确定性问题，在电力电子控制装置的协调运行中具有显著优势。通过模糊规则和推理，模糊控制能够应对系统中复杂的输入输出关系，确保高精度控制和稳定性。此外，人工智能(AI)和深度学习技术的引入为控制装置提供了更强的自适应和优化能力，AI算法能够根据电网实时状态和历史数据自动调整控制策略，提高系统的智能化水平，使得电力电子装置能够更加灵活地应对电网变化，提升整体系统的响应性与稳定性。

3.2 负载分配与功率调节

电力电子控制装置的协调运行要求在负载分配和功率

调节方面实现精细化管理。合理的负载分配能够有效平衡电网负荷，避免某些装置超负荷运行，同时提升系统的稳定性和可靠性。电力电子装置在负载调节过程中，不仅需要满足电网的功率需求，还必须考虑新能源发电的实际情况。在新能源发电波动较大的情况下，电力电子装置必须迅速响应并调整功率输出，以确保电网的稳定运行。例如，风能和太阳能的发电量受天气和时间的影响波动较大，因此电力电子装置需要具备较高的动态响应能力，能够在短时间内根据发电波动调整功率输出，从而避免电网频率不稳定或过载。同时，电力电子装置还需要具备精确的负载预测能力，通过对历史数据的分析和模型的应用，提前预测电网负载的变化趋势，以便及时进行调节。这种精细化的功率调节不仅可以减少能源浪费，还能确保电力系统在面对新能源波动时依然能够保持高效稳定的运行。

3.3 智能调度与优化控制

随着电力系统的复杂性和新能源比例的提高，智能调度在优化电力电子控制装置的协调运行中起着越来越重要的作用。智能调度系统基于大数据分析和人工智能技术，通过实时监控电网负荷和新能源发电情况，动态调整各电力电子装置的输出功率，确保系统的高效运行。智能调度不仅能够有效减少人为干预，提升调度的准确性，还能够根据实时数据和预测结果，优化各电力电子装置的运行策略，提高系统的稳定性和可靠性。通过实时数据分析和监控，调度系统能够预测新能源发电的波动趋势，在发电高峰时合理调度储能设备，避免电网负荷过载；在发电低谷时，通过调整输出或启动备用发电设备来补充电力，确保电网平衡。此外，智能调度系统能够处理复杂的电网调度问题，避免新能源发电的不稳定性和电网负荷不均衡导致的系统问题，从而确保电力电子装置的协调运行，维持电网的高效稳定。

4 面临的技术挑战与发展方向

4.1 新能源波动性对系统的影响

新能源的波动性和间歇性给电力电子控制装置的协调运行带来了巨大的挑战。风能和太阳能的发电量受天气、季节变化及日照时间等因素的影响，表现出显著的波动性。这种波动性增加了电力系统的负荷调节难度，尤其在风力或太阳能发电量突变时，电网的稳定性可能受到严重影响。因此，电力电子装置必须具备快速响应的能力，能够根据电网需求和发电变化，迅速调节输出功率。然而，现有技术在对新能源的急剧波动时仍然存在一定的局限，尤其是在短时间内迅速适应并保证稳定输出方面，现有装置的响应速度和控制精度尚不能完全满足系统对稳定性的高要求。因此，如何提高电力电子装置在极端情况下的快速响应能力，成为未来技术发展的重要方向。

4.2 电力电子装置的控制精度问题

尽管电力电子控制装置在一般条件下能够有效完成其

功能,但在极端环境或电网频率大幅波动时,控制精度和响应速度仍需进一步提升。新能源的间歇性使得电力需求和发电量之间的平衡更加难以维持,尤其是当电网频率发生剧烈波动时,现有技术可能无法保持足够的精度进行调节。因此,如何在电网负荷突增或突减时,精确调节电力电子装置的输出功率,并确保电网的稳定性,是一个技术难题。提升电力电子装置的控制精度,尤其是在应对大幅波动时,能够有效降低系统的不稳定性,确保电网的安全与高效运行。这一问题的解决对于新能源并网系统的长期稳定运行至关重要。

4.3 设备间协调与稳定性维护

在新能源并网系统中,多个电力电子控制装置协同工作是实现系统稳定性的关键。然而,如何确保不同设备间的协调性,是当前面临的重要技术挑战。由于每个电力电子装置的响应时间、控制策略和运行状态可能存在差异,若设备之间缺乏有效的协调机制,就容易导致负载分配不均、频率波动等问题,从而影响电力系统的稳定性。因此,精细化的调度和协调策略在确保电力电子装置之间高效协作方面发挥着重要作用。通过引入先进的控制算法和智能调度技术,可以优化电力电子装置的工作参数和调度策略,确保设备之间的协同运作。此外,如何通过创新的控制技术和智能化的系统设计,提高设备间的协调效率,减少冲突和不平衡问题,也是未来研究的重点。

5 优化策略与解决方案

5.1 基于人工智能的自适应控制方法

人工智能(AI)和机器学习技术的引入,为电力电子控制装置提供了新的解决方案。自适应控制方法通过实时监控电网数据,能够动态调整电力电子装置的工作状态,以适应电网负荷的变化。AI技术,尤其是深度学习和模式识别技术,能够实时分析电网的状态和新能源发电的波动,预测电网未来的运行趋势,并在预设的控制目标下,优化电力电子装置的功率输出。通过这种智能化调节,系统能够在面对负荷变化和新能源波动时做出及时响应,从而提高电力电子装置的灵活性和响应能力,确保电网的稳定性与高效性。此外,AI算法通过自学习和不断优化控制策略,不仅能提升系统的运行效率,还能使装置具备一定的自适应能力,在不同的运行条件下自主调整工作模式。

5.2 基于大数据的电力电子装置调度优化

大数据技术在电力电子装置的调度优化中发挥着重要作用。通过对大量实时数据的收集和分析,调度系统可以实

时监控电网运行状态和新能源发电情况,动态调整各电力电子装置的工作参数,以减少电网负荷波动对系统稳定性的影响。大数据分析使得系统能够提前预测新能源发电量的波动趋势,尤其是风能和太阳能等可再生能源的波动,这为电网调度提供了更精确的依据。例如,通过分析历史数据和天气预报,调度系统可以在新能源发电低谷时调动储能系统或传统发电机组,平衡电网负荷,从而减少调度延迟和能源浪费。这种实时的调度优化不仅提高了电力电子装置的响应速度,也显著提高了系统的运行效率和可靠性。

5.3 储能系统的辅助作用

储能系统在新能源并网中起着至关重要的作用,能够有效调节电网负荷并提高系统的稳定性。当新能源发电量较低时,储能系统可以及时补充电力,避免因新能源发电不足而导致的电网频率波动;当新能源发电量过剩时,储能系统可以存储多余电力,避免能源浪费。在与电力电子控制装置的结合下,储能系统可以实现对电网负荷的精准调节,进一步减少对传统发电设备的依赖。这种结合不仅提高了新能源并网的经济性,还增强了电网的可靠性。通过储能与电力电子装置的协同工作,系统能够在短时间内调节电力的供需,保持电网稳定运行,尤其在新能源波动较大的情况下,储能系统的调节作用尤为突出。

6 结语

新能源并网系统中的电力电子控制装置在保证系统稳定运行方面发挥着至关重要的作用。通过优化控制策略、引入智能调度和自适应控制方法,可以提高系统的响应速度和稳定性。尽管面临技术瓶颈和挑战,随着技术的不断发展和创新,新能源并网系统将向着更加高效、稳定的方向发展。电力电子控制装置的协调运行机制仍是研究的重点,未来随着新技术的引入和优化,新能源并网系统的整体性能将得到显著提升,为全球能源转型和可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 高木宁.新能源发电并网控制策略研究与振荡机理分析[D].山东大学,2021.
- [2] 金伟涛,娄云天,汤波,等.低电压穿越期间新能源并网系统静态失稳机理及改进控制方法[J/OL].电力自动化设备,1-18[2025-12-23].
- [3] 乔燕军,王之剑,孙光禄,等.新能源并网稳定性分析及提升技术综述:现状、挑战与发展趋势[J/OL].水利水电技术(中英文),1-11[2025-12-23].