

风电并网引起的电力系统运行稳定问题及对策

朱军 曾宇晴

中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i2.7146

[摘要] 随着风电在能源领域的不断崛起,风电并网成为清洁能源系统的重要组成部分。然而,风电的波动性和不确定性给电力系统带来了一系列挑战,如频率偏移、电压稳定性和系统动态响应等问题。为解决问题,提出一系列对策,包括高效的风电功率预测算法、先进的风电控制策略、新型的风电-储能系统融合方案以及智能化电力系统管理。这些对策的实施将有助于提高电力系统的稳定性、可靠性和经济性,推动清洁能源的大规模应用和智能电网的发展。

[关键词] 风电并网; 电力系统运行稳定性; 风电特性; 不确定性; 控制策略

中图分类号: F407.61 文献标识码: A

Stability of operation and countermeasures of power system caused by wind power grid connection

Jun Zhu Yuqing Zeng

China Electric Power Engineering Consulting Group North China Electric Power Design Institute Co., LTD

[Abstract] With the continuous rise of wind power in the energy field, wind power grid connection has become an important part of the clean energy system. However, the volatility and uncertainty of wind power bring a series of challenges to the power system, such as frequency offset, voltage stability and dynamic response of the system. In order to solve the problem, a series of countermeasures are put forward, including efficient wind power prediction algorithm, advanced wind power control strategy, new wind power-energy storage system fusion scheme and intelligent power system management. The implementation of these countermeasures will help to improve the stability, reliability and economy of the power system, and promote the large-scale application of clean energy and the development of smart grid.

[Key words] wind power grid connection; operation stability of power system; wind power characteristics; uncertainty; control strategy

引言

随着全球对可再生能源的迫切需求,风电作为一种清洁、可再生的能源形式,逐渐占据能源结构的重要地位。风电并网在理论上为减缓气候变化、提高能源利用效率提供了巨大潜力。在实际应用中,风电的波动性和不确定性对电力系统的运行稳定性带来了新的挑战。频繁的风速变化可能导致系统频率偏移,风电输出的不稳定性可能引起电压波动,而风电的特殊运行特性也对系统的动态响应提出了新的要求。

1 风电特性及对电力系统的影响

随着全球对清洁能源需求的不断增长,风电作为一种可再生能源形式,正在迅速发展。在风电的发展现状方面,近年来,全球范围内投资和建设的风电项目呈现出逐年增加的趋势。各国政府纷纷加大对风电产业的支持力度,制定了一系列激励政策,包括提供补贴、税收优惠和能源配额等,以推动风电的规模

化发展。这使得风电在全球能源结构中占据越来越重要的地位,成为替代传统能源的主要选择之一。

风电的技术特点是其独特之处。风电作为一种分布式能源,具有广泛的分布区域,可以建设在陆地和近海等不同地域。这种分布式布局有效地利用了风资源,提高了能源的获取效率^[1]。风电技术不断创新,风力发电机组的容量逐渐增大,风力发电技术也不断提高,提高了风电的发电效率。风电的建设周期相对短,相比传统火电等能源形式,风电的投产周期更为迅速,有助于快速响应能源需求的增长。

2 电力系统运行稳定性分析

2.1 电力系统运行稳定性概述

静态稳定性主要关注电力系统在平衡状态下的稳定性,即在短时间内系统是否能够保持稳定的电压和频率。这通常涉及到对电力系统进行潮流分析,以确保各节点的电压和功率之间

达到平衡。动态稳定性则关注电力系统在面对瞬时或持续性扰动时的响应速度和稳定性,通常通过考虑系统的动力学模型来评估。

电力系统的运行稳定性直接影响到电力系统的可靠性和安全性,是电力系统规划、设计和运营中不可忽视的重要问题。传统电力系统主要以基础负荷和调峰负荷为主,其稳定性主要受到这些相对恒定的负荷的影响

2. 2风电对电力系统稳定性的挑战

风电的特性使其在电力系统中引入了一系列挑战,对电力系统的运行稳定性提出了新的要求。由于风速的不确定性和变化性,风电发电量的波动性较大,可能导致电力系统频率的偏移。频率的变化直接关系到系统的运行稳定性,因此需要对风电波动性对频率的影响进行深入研究。风电的不稳定输出对电力系统的电压稳定性构成了挑战。风电的瞬时变化可能导致电网中的电压波动,对电力设备和系统稳定性造成影响。特别是在电力系统中存在大量的风电并网情景下,对电压的合理控制成为确保系统正常运行的关键^[2]。

3 风电并网引起的问题

3.1 风电波动性引起的频率偏移问题

风电发电的波动性是由于风速的不断变化引起的,这导致了风电输出功率的波动。在电力系统中,频率是一个关键的参数,而风电波动性可能导致系统频率的偏移。频率的偏移会影响电力系统的稳定性,甚至可能引发系统失稳,对系统的可靠性和安全性带来威胁。

为了解决这一问题,首先需要建立准确可靠的风电功率预测模型。这需要考虑多个因素,包括风速、风向、气温等气象因素,以及风电场的拓扑结构。在建模过程中,可以采用机器学习等先进技术,通过历史数据学习风电输出的规律,提高预测的准确性。此外,合理的风电场规划和布局也是减小风电波动性影响的重要手段,通过合理配置风电场的空间位置,使得各个风电机组的波动能够相对平稳地互相抵消,降低整体波动性。

3.2 风电不确定性导致的电压稳定问题

风电输出的不确定性是风电并网的另一个显著特点,这主要受到风速、气象条件等因素的影响。这种不确定性可能导致电力系统中电压的不稳定,进而影响系统的正常运行。电压的不稳定会对电力设备造成损害,同时也会影响用户的用电设备,降低供电质量。为了解决风电不确定性带来的电压稳定问题,可以采用先进的电力电子设备和调度控制策略。例如,通过在风力发电机组中引入电压调节装置,能够在电网电压波动时调整风电机组的输出电压,使其更稳定。此外,利用储能技术也是一种解决方案,通过储能系统储存风电波动期间的多余电能,在电力系统需要时释放,以维持电压的稳定。综合运用这些技术手段,可以有效减缓风电不确定性对电压稳定性的影响。

3.3 风电对系统动态响应的影响

风电并网还对电力系统的动态响应产生了一定影响。由于风电的发电特性与传统的同步发电机有较大差异,其惯性较小,

对系统的惯性响应能力较弱。这可能导致在系统发生突发故障时,风电难以提供足够的短时电能支撑,影响系统的动态稳定性。为了解决这一问题,可以采用新型的风电控制策略,通过在控制系统中引入惯性仿真和预测技术,提高风电对系统动态响应的适应性^[3]。此外,风电与储能系统的协同运行也是一个重要方向,通过在风电场附近配置储能设备,能够在系统发生故障时迅速注入电能,提高系统的抗干扰能力。

4 对策提出与分析

4.1 高效的风电功率预测算法

为了应对风电波动性带来的频率偏移问题,一个关键的对策是采用高效的风电功率预测算法。这样的算法能够通过分析风速、气象条件等多种因素,精确地预测未来风电的输出功率,为电力系统的调度和运行提供准确的数据支持。在实际应用中,可以利用机器学习、深度学习等先进技术构建预测模型,通过大量的历史数据训练模型,使其具备较强的预测能力。此外,还可以结合气象预报数据和实时监测数据,不断更新和优化预测模型,提高预测精度和准确性。通过预测未来风电输出,电力系统可以提前做好调度和运行安排,有效应对风电波动性带来的频率偏移问题,保障电网的稳定运行。

4.2 先进的风电控制策略

针对风电对电力系统稳定性的挑战,先进的风电控制策略是一项关键对策。传统的风电控制主要关注于最大功率点跟踪,但在考虑系统稳定性时,需要更多的关注系统频率和电压的调节。新一代的风电控制策略应该具备更高的智能化,能够在不同工况下动态调整风电出力,以维持电力系统的稳定运行。一种可能的策略是采用预测控制方法,通过实时监测系统频率和电压的变化,预测未来一段时间内的风电输出,并根据预测结果调整风电出力。同时,可以引入协同控制,使得风电场内的各个风电机组之间能够协同工作,共同维护系统的稳定性。这样的先进风电控制策略有望在提高风电并网时保障电力系统稳定性方面发挥积极作用。

4.3 新型的风电-储能系统融合方案

针对风电不确定性导致的电压稳定问题,新型的风电-储能系统融合方案是一种创新的解决方案。通过在风电场附近配置储能设备,可以在风电波动性较大时,将多余的电能存储起来;在电力系统需要稳定电压时,释放储存的电能,提供支撑。这种融合方案有效平衡风电的波动性,同时提高电力系统的抗扰性。在储能技术方面,可以选择各种类型的储能设备,包括电池储能、超级电容储能等。这些设备可以快速响应,具有较高的电能储存效率。通过采用新型的风电-储能系统融合方案,可以有效解决风电不确定性导致的电压稳定问题,提高电力系统的可靠性和稳定性。

4.4 智能化电力系统管理

为了有效协调风电与传统电力系统的运行,提高电力系统整体的智能化程度是至关重要的。智能化电力系统管理可以通过引入先进的监测、调度和控制技术,实现对电力系统的实时监

测和智能调度。这包括对风电场的远程监控,对电力系统状态的实时分析,以及智能调度算法的应用。在风电并网的情境下,智能化电力系统管理可以实现对风电输出的精确调度,根据系统需求和风电波动性,合理安排电力系统的运行状态,提高系统的灵活性和稳定性。

5 案例研究

5.1 选取具有代表性的电力系统

在进行案例研究之前,首先需要选择一个具有代表性的电力系统作为研究对象。考虑到电力系统的多样性,选取一个典型的系统可以更好地展现提出的对策在不同环境下的适用性。在选择过程中,需要综合考虑以下因素:

规模:选取一个规模适中的电力系统,既要具有一定的规模,又不能太大,以确保研究的可控性和可操作性。

结构:电力系统的结构应该具有代表性,包括输电网、变电站、发电厂等各种组成部分,以便全面评估提出的对策对整个系统的影响。

电源组合:考虑到风电并网的特点,选取的电力系统应该包含传统能源和可再生能源,尤其是风电。

以某国的地方电力系统为例,该系统通常由多个发电厂、变电站和输电线路组成,涵盖了城市和乡村地区。其中,部分地区可能已经实现了风电并网,但仍然存在一定的挑战和问题。通过选择这样一个代表性的系统,可以更全面地评估提出的对策在实际应用中的可行性和效果。

5.2 模拟风电并网场景

在选定了电力系统后,接下来的步骤是模拟风电并网场景。这需要考虑风电的波动性、不确定性以及对电力系统的影响。以下是模拟风电并网场景的具体步骤:

建立风电场模型:首先,需要建立一个风电场的模型,考虑各种风速、气象条件等因素。这可以通过历史气象数据和风电机组的技术参数来实现。

生成模拟数据:利用建立的风电场模型,生成模拟的风电输出数据。这些数据将作为实验的输入,模拟实际风电并网的情景。在生成数据时,需要考虑风电的波动性和不确定性,以及可能出现的各种情况。

考虑多种情景:在模拟中,可以考虑不同风电机组的分布、容量、技术水平等因素,以更真实地反映电力系统的复杂性。同时,还可以引入实际运行中可能遇到的各种变化和突发情况,如

风速突变、设备故障等,以全面地评估提出的对策在应对复杂情景时的性能。

通过模拟风电并网场景,可以更好地理解风电对电力系统的影响,评估提出的对策的可行性,并为实际应用提供科学依据。

5.3 实施对策并分析效果

在模拟风电并网场景之后,接下来的关键步骤是实施提出的对策,并详细分析其效果。对策的实施包括在模型中引入高效的风电功率预测算法、先进的风电控制策略、新型的风电-储能系统融合方案以及智能化电力系统管理。通过引入先进的风电功率预测算法,我们可以比较模拟中使用预测和不使用预测的情况下,系统频率的偏移情况。这将有助于评估预测算法在减小频率偏移问题上的效果。实施先进的风电控制策略,通过模拟不同的控制方案,分析系统频率、电压的稳定性,以及风电对系统动态响应的改善情况。针对电压稳定问题,引入新型的风电-储能系统融合方案。通过比较模拟中使用和不使用储能系统时,系统电压的波动情况,评估储能系统在提高电压稳定性方面的效果。通过实施智能化电力系统管理,比较不同管理策略下系统的整体性能,包括系统的响应速度、抗干扰能力等指标。

6 结论

本文提出的对策在案例研究中展现出了良好的效果,为风电并网的电力系统稳定性提供了可行的解决方案。在实际应用中仍需注意各种因素的复杂性,不同电力系统的特点可能导致对策的适用性有所不同。未来的研究方向包括进一步优化对策、拓展适用范围,以及更深入地探讨风电与传统能源的协同运行,促进清洁能源的可持续发展。

[参考文献]

- [1]迟永宁,李群英,李琰,等.大规模风电并网引起的电力系统运行与稳定问题及对策[J].电力设备,2008,9(11):4.
- [2]赵龙,汪宁渤,何世恩,等.大规模风电并网引起的电力系统运行与稳定问题及对策[J].电子测试,2015,(5):3.
- [3]杨志强.大规模风电并网引起的电力系统运行与稳定问题探究[J].电子制作,2014,(19):238.

作者简介:

朱军(1990—),男,汉族,安徽人,中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司,工程师,硕士研究生,研究方向:新能源。