

电气工程中新能源并网对电力系统稳定性的影响分析

魏伟

广西北泰送变电工程集团有限公司, 广西 柳州 545000

摘要 : 本文旨在探讨新能源并网技术及其对电力系统稳定性的影响。本文内容分为两大部分: 起初, 对新能源发电的种类及其特性进行了全面概述, 并详细说明了新能源并网的接入方法及所涉及的关键技术难题。接着, 深入探讨了电力系统稳定性的理论基础, 这包括稳定性的不同类别、评价技术, 以及影响系统稳定性的主要因素。进一步, 本文重点分析了新能源并网对电力系统稳定性的影响, 包括静态稳定性分析和动态稳定性分析。在静态稳定性分析中, 研究了新能源并网对电压稳定性和无功功率平衡的影响; 在动态稳定性分析中, 探讨了新能源并网对系统频率稳定性和暂态稳定性的影响。本文的研究为理解和解决新能源并网带来的稳定性问题提供了理论依据, 对促进新能源发电技术的应用和保障电力系统安全稳定运行具有重要意义。

关键词 : 新能源并网; 电力系统稳定性; 静态稳定性; 动态稳定性; 电压稳定性

Analysis of the Impact of New Energy Grid Connection on the Stability of Power Systems in Electrical Engineering

Wei Wei

Guangxi Zhaotai Transmission and Transformation Engineering Group Co., Ltd. Liuzhou, Guangxi 545000

Abstract : This article aims to explore new energy grid-connection technology and its impact on the stability of power systems. The content of this article is divided into two major parts: Initially, a comprehensive overview of the types and characteristics of new energy power generation is provided, and the access methods of new energy grid connection and the key technical challenges involved are explained in detail. Then, the theoretical foundation of power system stability is discussed in depth, including different categories of stability, evaluation techniques, and the main factors that affect system stability. Furthermore, this article focuses on analyzing the impact of new energy grid connection on the stability of power systems, including static stability analysis and dynamic stability analysis. In the static stability analysis, the effects of new energy grid connection on voltage stability and reactive power balance are studied; in the dynamic stability analysis, the effects of new energy grid connection on system frequency stability and transient stability are explored. The research in this article provides a theoretical basis for understanding and solving the stability problems caused by new energy grid connection, and it is of great significance for promoting the application of new energy power generation technology and ensuring the safe and stable operation of power systems.

Keywords : new energy grid connection; power system stability; static stability; dynamic stability; voltage stability

引言

随着全球能源结构的转型和环境保护的日益重视, 新能源发电技术得到了迅速发展。风能、太阳能等可再生能源的并网发电已成为电力系统的重要组成部分。然而, 新能源发电具有间歇性、随机性和不可控性等特点, 其大规模并网对电力系统的稳定性带来了新的挑战。电气工程领域对新能源并网影响电力系统稳定性的研究具有重要的理论和实际意义。本文旨在分析新能源并网对电力系统稳定性的影响, 探讨新能源发电接入对系统静态稳定性、动态稳定性的影响机理, 并提出相应的稳定性提升措施, 以期为我国新能源并网技术的发展和电力系统的安全稳定运行提供理论依据和技术支持。

一、新能源并网技术概述

随着可持续发展战略的深入实施, 新能源并网技术已成为推

动能源结构转型的重要力量。以下章节将详细探讨新能源发电的类型及其独特性质, 并网接入的不同方式, 以及新能源并网过程中面临的**关键技术挑战**。

（一）新能源发电类型及其特点

新能源发电作为近年来新兴的发电模式，在实际大面积应用新能源发电模式之前要对其类型进行充分的分析，针对当前自身的实际情况采取合理的新能源发电形式，从而在节约成本的基础上，有效提升新能源发电的整体效率^[1]。新能源发电，作为一种清洁且可再生的能源形式，涵盖了风能、太阳能、生物质能等多种类型，每种发电方式均展现出其独特的运行特性和技术优势。风能发电，其运行依赖于风速的波动，因此呈现出间歇性和不可预测性的特点。与此同时，太阳能发电则受制于天气状况和地理位置的制约，表现出明显的波动性和季节性特征。这些独特的性质，使得新能源发电在并入电网过程中，需进行周密地考虑与特殊处理。

风能发电的间歇性和不可预测性，要求电网具备良好的调峰能力和备用能源配置，以确保电力供应的稳定性。而太阳能发电的波动性和季节性，则需要通过技术创新和电网优化，实现能源的高效利用和调度。在这一过程中，新能源发电的并网技术、储能系统以及智能调度等方面的研究与应用，显得尤为重要，以保障我国能源结构的优化和电力系统的安全稳定运行。

（二）新能源并网接入方式

新能源并网的接入方式多种多样，其分类依据主要是发电规模和技术要求，大体可分为直接并网与间接并网两大类。直接并网模式，即新能源发电系统不经任何中间转换，直接与电网相连^[2]。这种接入方式简洁高效，但对接入点的电网稳定性提出较高要求。相反，间接并网则是通过能量转换装置，如逆变器，将新能源发电系统产生的电能转换为符合电网标准的电能形式，再进行并网。

直接并网的优势在于减少了能量转换环节，提高了电能的传输效率，但同时也对电网的稳定性构成了挑战，尤其是在新能源发电波动性较大的情况下。而间接并网方式，虽然增加了能量转换的环节，但通过逆变器等设备，可以有效调节电能的频率、电压等参数，确保接入电网的电能质量，降低对电网的冲击，提升电网的运行稳定性。

这两种不同的接入方式对电网的稳定性、电能质量以及运行效率产生显著影响。直接并网要求电网具备更强的调节能力和更高的故障承受能力，而间接并网则通过能量转换装置的调节作用，为电网提供了更为稳定和高质量的电能供应^[3]。因此，在选择新能源并网接入方式时，需综合考虑发电系统的特性、电网的现状以及技术经济性等多方面因素，以实现新能源与电网的和谐接入。

（三）新能源并网的关键技术问题

新能源并网技术的广泛应用面临诸多关键技术挑战。提升新能源发电功率预测的准确性，确保并网系统的稳定性和电能质量，以及优化能量管理策略以促进能源的高效利用，构成了新能源并网技术的核心议题。同时，并网设备的可靠性、成本效益以及与现有电网的兼容性，亦是推动新能源发电顺利接入和保障电力系统安全运行不可忽视的要素。

提高新能源发电功率预测精度，对于电网调度和能源管理至

关重要。这要求开发更为先进的预测模型和方法，综合考虑气象条件、地理位置、历史数据等多方面因素，以减少预测误差，提升电网运行的预见性和可控性^[4]。

在确保并网系统稳定性和电能质量方面，需深入研究并网技术的控制策略和调节机制。通过采用先进的逆变器技术、动态无功补偿装置以及智能控制系统，可以有效抑制新能源发电的波动性，保障电网的稳定运行和电能质量。

优化能量管理策略，涉及储能系统的集成、多能互补利用以及需求侧管理等多个层面。通过智能化调度和优化算法，实现能源的合理分配和高效利用，从而提升整个能源系统的运行效率。

此外，并网设备的可靠性直接关系到新能源发电系统的长期稳定运行。因此，需加强对设备的设计、制造和运维管理，确保其在复杂环境下的可靠性和耐用性^[5]。同时，成本效益分析是评估并网技术经济性的关键，要求在保障技术性能的同时，充分考虑投资成本和运营成本，以实现经济效益的最大化。

二、电力系统稳定性理论基础

电力系统的稳定性是衡量系统在扰动作用下能否保持正常运行状态的关键指标。为了深入理解和分析新能源并网对电力系统稳定性的影响，有必要对电力系统稳定性的基本概念进行分类，并探讨相应的评价方法。

（一）电力系统稳定性分类

电力系统的稳定性是保障电网安全运行的关键，其分类主要包括静态稳定性、暂态稳定性和动态稳定性三个层面。静态稳定性关注点在于系统在长期稳态运行条件下，面对微小扰动时，系统能否维持其原有的平衡状态，不发生持续性的振荡或失稳。这一稳定性指标是评估系统长期运行可靠性的重要依据。

暂态稳定性则聚焦于系统在遭遇严重扰动，如短路或线路断开等突发事件后，系统动态过程中的行为及其恢复至新的稳定运行状态的能力。暂态稳定性的研究对于理解系统在极端条件下的恢复力至关重要，是电网事故预防和应对措施制定的基础。

动态稳定性则涉及系统在遭受不同频率范围的扰动时，维持稳定运行的能力。这包括了对系统频率、电压和相角的动态响应分析，确保系统在各种操作条件和扰动作用下，均能保持稳定，避免出现连锁反应导致的大面积停电事故^[6]。

这三类稳定性分类为新能源并网技术的分析与研究提供了多维度的视角。静态稳定性分析有助于评估新能源接入对电网长期运行的影响；暂态稳定性研究则有助于设计有效的紧急控制策略，以应对突发状况；动态稳定性分析则关注新能源并网后，系统对各种扰动的整体响应和调节能力。

（二）电力系统稳定性评价方法

电力系统稳定性的评价体系涵盖了时域仿真分析、频域分析以及小信号分析等多种方法。时域仿真分析通过重现系统在特定时间序列内的动态过程，精确描绘系统行为，从而对稳定性进行深入评估。该方法能够捕捉到系统在遭受扰动后的详细动态响应，为稳定性分析提供了直观且全面的视角^[7]。

频域分析则侧重于从频率维度审视系统对扰动的反应特性,通过分析系统的频率响应函数,揭示系统在不同频率扰动下的稳定性能。这种方法有助于识别系统中的薄弱环节,为稳定性改善措施的设计提供依据。

小信号分析法通过探究系统对小幅度扰动的线性响应,预测系统的稳定性边界。该方法以其计算效率高、适用范围广的特点,在系统设计初期和参数优化过程中发挥着重要作用。

这些评价方法为深入分析新能源并网对电力系统稳定性影响提供了丰富的工具和手段。时域仿真分析能够揭示并网过程中的瞬态稳定性问题;频域分析有助于理解系统在频率扰动下的稳定特性;小信号分析则适用于快速评估系统对小扰动的敏感性。

(三) 影响电力系统稳定性的主要因素

电力系统的稳定性受众多因素的综合作用,涵盖了系统结构、元件特性、运行条件、控制策略以及外部环境等多个层面。新能源发电单元的接入,例如风力和太阳能发电站,可能引起系统动态特性的显著变化,从而影响稳定性^[9]。同时,系统元件的老化与潜在故障也是稳定性分析中不可忽视的因素。

运行条件的波动,包括负载的增减和天气条件的变化,均会对电力系统的稳定性产生直接影响。负载的动态变化可能导致系统频率和电压的波动,而恶劣的天气条件则可能影响新能源发电的输出和电网的传输能力。

因此,在分析新能源并网对电力系统稳定性影响时,必须全面考虑上述因素的相互作用。系统结构的变化要求对网络拓扑和潮流分布进行重新评估;元件特性的监测与分析有助于识别潜在的故障点;运行条件的实时监控则有助于及时调整控制策略,以适应负载和天气的波动。

三、新能源并网对电力系统稳定性影响分析

新能源并网技术的应用,虽然为电力系统带来了清洁能源的补充,但同时也对系统的稳定性提出了新的挑战。以下章节将深入分析新能源并网对电力系统静态稳定性和动态稳定性的具体影响。

(一) 静态稳定性分析

静态稳定性反映了电力系统在稳态运行条件下,面对微小扰动时维持稳定运行的能力。新能源并网对这一稳定性指标的影响主要体现在电压稳定性和无功功率平衡两个关键方面。

在电压稳定性方面,新能源发电的波动性和间歇性特性可能导致电网电压的波动。特别是在电力负荷高峰期与新能源出力低谷期的叠加时段,电压不稳定现象尤为显著^[9]。新能源发电设备的启动和停机操作,可能会对电网电压造成瞬时冲击,进一步加剧电压波动的风险。

在无功功率平衡方面,新能源发电单元根据其运行特性,通常需要从电网中吸收或向电网注入无功功率,以保障其正常运行。这一过程可能会破坏电网原有的无功功率平衡状态,进而引起电压波动。在极端情况下,无功功率的失衡可能导致电压崩溃,严重影响电力系统的安全稳定运行。

(二) 动态稳定性分析

动态稳定性关注电力系统在遭遇较大扰动后,能否迅速恢复至新的稳定运行状态。新能源并网对动态稳定性的影响主要体现在系统频率稳定性和暂态稳定性两个关键维度。

在系统频率稳定性方面,新能源发电的随机性和不可控性可能导致系统频率的波动。特别是在新能源出力突发性下降或负荷急剧增加的情况下,系统可能无法迅速调整发电量以匹配供需变化,进而影响频率稳定性。这种频率波动若未能得到有效控制,可能会引发连锁反应,威胁到整个电力系统的安全运行^[10]。

在暂态稳定性方面,新能源发电单元在电网发生故障时的响应特性与传统发电机组存在差异。这些差异可能会在故障期间加剧系统的暂态过程,影响系统的暂态稳定性。特别是在故障被清除后,新能源发电单元的快速恢复可能会对系统的再同步造成不利影响,增加了系统失稳的风险。

四、结束语

总而言之,新能源并网对电力系统稳定性确实存在一定影响,但通过优化控制策略、增强电网调节能力及改进电力系统运行模式等措施,可以有效提升系统稳定性。本文的研究成果为新能源并网技术的发展提供了理论支持,有助于推动我国电力系统向清洁、高效、稳定的方向发展。然而,新能源并网技术仍处于不断发展和完善阶段,未来研究还需关注更多实际运行场景,以期为电力系统的安全稳定运行和新能源的高比例消纳贡献力量。

参考文献

- [1] 张鹏程. 新能源发电接入及对电网规划的影响[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊),2020,(03):92-93.
- [2] 陈红振,王超. 基于新能源发电下动态调度体系的思考[J]. 中国战略新兴产业,2018,(32):74.DOI:10.19474/j.cnki.10-1156/f.005714.
- [3] 宋平凡,佟胜伟,段森园. 新能源发电并网对电网电能质量的影响分析[J]. 通信电源技术,2019,36(12):139-140.DOI:10.19399/j.cnki.tpt.2019.12.068.
- [4] 伍文华. 新能源发电接入弱电网的宽频带振荡机理及抑制方法研究[D]. 湖南大学,2019.DOI:10.27135/d.cnki.ghudu.2019.003502.
- [5] 刘德顺. 基于多种调峰手段的新能源发电场群联合优化调度研究[D]. 兰州交通大学,2019.DOI:10.27205/d.cnki.gltcc.2019.000561.
- [6] 罗琳. 考虑新能源发电不确定性的配电网重构策略研究[D]. 湖南大学,2019.DOI:10.27135/d.cnki.ghudu.2019.002259.
- [7] 汪晓露,李娜娜,谢国辉. 非洲新能源发电成本测算及非欧联网输电经济性分析[J]. 全球能源互联网,2018,1(01):81-86.DOI:10.19705/j.cnki.issn2096-5125.2018.01.011.
- [8] 徐学根. 促进新能源发展建立统一的新能源发电上网电价政策[C]//中国农机工业协会风能设备分会《中小型风能设备与应用》(2013年第4期).浙江华鹰风电设备有限公司,2013:4.
- [9] 姚甲刚,孙彦强,李岩岩,等. 电力系统中新能源发电的运用与思考[J]. 科技与企业,2015,(23):110+113.DOI:10.13751/j.cnki.kjyqy.2015.23.099.
- [10] 葛亚明. 应对新能源发电接入的江苏电网调度运行技术研究[D]. 华北电力大学,2015.