

电力系统稳定性分析与控制方法研究

邓 凯

逸盛大化石化有限公司 辽宁大连

【摘要】电力系统稳定性是保障电力供应可靠性的关键。本文深入探讨电力系统稳定性分析与控制方法，分析其重要性及现状。通过阐述稳定性分析理论基础，研究控制策略及应用，提出优化建议。研究旨在提升电力系统稳定性，为电力行业发展提供理论支持与实践指导，助力能源转型与可持续发展。

【关键词】电力系统；稳定性；分析；控制；优化

【收稿日期】2025 年 1 月 18 日 **【出刊日期】**2025 年 2 月 11 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250032

Study on stability analysis and control methods of power system

Kai Deng

Yisheng Dahua Petrochemical Co. Ltd., Dalian Liaoning

【Abstract】 The stability of power systems is crucial for ensuring reliable electricity supply. This paper delves into the analysis and control methods of power system stability, examining their importance and current status. By elucidating the theoretical foundations of stability analysis, studying control strategies and applications, and proposing optimization suggestions, the research aims to enhance power system stability. It provides theoretical support and practical guidance for the development of the power industry, contributing to energy transition and sustainable development.

【Keywords】 Power system; Stability; Analysis; Control; Optimization

引言

电力系统作为现代社会能源供应的核心，其稳定性直接关系到经济运行、社会生活和国家安全。随着能源转型和电网规模不断扩大，电力系统稳定性面临诸多挑战。本文旨在深入研究电力系统稳定性分析与控制方法，分析其现状与问题，提出优化策略，以保障电力系统的安全稳定运行，推动电力行业的可持续发展。

1 电力系统稳定性分析理论基础

电力系统稳定性是衡量电力系统在受到各种扰动后能否维持正常运行的重要指标。电力系统在运行过程中会受到多种因素的干扰，如设备故障、负荷变化、新能源接入等。这些扰动可能导致系统电压、频率和功率的波动，进而影响电力系统的安全稳定运行^[1]。深入研究电力系统稳定性具有重要的理论和现实意义。稳定性分析是保障电力系统稳定运行的关键环节，它主要包括静态稳定、暂态稳定

和动态稳定三个方面的研究。静态稳定主要关注电力系统在受到小扰动后的平衡能力。小扰动是指系统中负荷的微小变化、线路的轻微波动等。在静态稳定分析中，通过线性化方法和特征值分析等手段，可以评估系统在平衡点附近的稳定性。

如果系统在小扰动下能够自动恢复到原来的平衡状态，那么系统就具有良好的静态稳定性。静态稳定分析为电力系统的规划设计和运行控制提供了重要依据，有助于优化电网结构、合理配置设备，从而提高系统的抗干扰能力。暂态稳定则研究电力系统在受到大扰动后的恢复能力。大扰动通常是指系统中发生严重的故障，如线路短路、发电机跳闸等。在这种情况下，系统可能会出现较大的电压和频率波动，甚至可能导致系统的崩溃。暂态稳定分析通过建立系统的非线性模型，模拟故障发生后的动态过程，从而评估系统在大扰动下的稳定性。通过对暂态稳定的研究，可以制定有效的故障处理策略和控制措施，以确

作者简介：邓凯（1986-）男，汉族，河南洛阳，助理工程师，本科，研究方向为电气工程及其自动化。

保系统在故障发生后能够快速恢复到稳定状态。动态稳定涉及电力系统在长期运行中的稳定性。

与静态稳定和暂态稳定不同,动态稳定关注的是系统在较长时间内的稳定性问题,如低频振荡、次同步振荡等。这些振荡现象可能会导致系统设备的疲劳损坏,甚至影响系统的整体运行效率^[2]。动态稳定分析通过时域仿真和频域分析等方法,研究系统在长期运行过程中的稳定性特性。通过对动态稳定的研究,可以优化系统的运行参数,提高系统的抗振荡能力,从而保障电力系统在长期运行中的稳定性和可靠性。静态稳定、暂态稳定和动态稳定是电力系统稳定性分析的三个重要方面。这些分析方法为电力系统稳定性研究提供了坚实的理论支撑,有助于深入理解电力系统在不同扰动下的行为特性,从而为电力系统的规划设计、运行控制和故障处理提供了科学依据。

2 电力系统稳定性控制策略

为保障电力系统的稳定运行,必须采取多种有效的控制策略。一次调频技术是电力系统频率调节的重要手段之一。当系统负荷发生变化时,一次调频能够迅速响应,通过调整发电机组的转速来维持系统频率的稳定。在电网负荷突然增加时,发电机组的转速会略有下降,此时一次调频装置会自动检测到频率的变化,并迅速调整机组的出力,使其恢复到额定转速,从而保持系统频率在允许的范围内。自动发电控制技术则在更长的时间尺度上对系统频率进行精细调节^[3]。它通过实时监测电网的频率偏差和功率偏差,自动调整发电机组的出力,以实现系统频率的稳定运行。这种技术能够有效应对系统负荷的缓慢变化和随机波动,确保电网频率的长期稳定性。

无功功率补偿装置和静止无功补偿器在优化电力系统电压水平方面发挥着关键作用。电力系统中的无功功率流动对电压水平有着直接影响,无功功率不足会导致电压下降,而无功功率过剩则会使电压升高。无功功率补偿装置可以通过向系统注入或吸收无功功率,来调节系统中的无功功率平衡,从而维持电压的稳定。静止无功补偿器则是一种先进的无功补偿设备,它能够快速响应系统电压的变化,并根据需要实时调整无功功率的输出。在电网中发生短路故障导致电压急剧下降时,静止无功补偿器可以迅速投入运行,提供大量的无功功率,以支撑

系统电压,防止电压崩溃。

继电保护装置是电力系统中不可或缺的安全保障设备,其核心作用是快速切除故障设备,防止故障扩大化。当电力系统中发生故障时,如短路故障、接地故障等,继电保护装置能够迅速检测到故障信号,并在极短的时间内发出跳闸指令,使故障设备与系统隔离^[4]。当输电线路发生短路故障时,线路保护装置会在几毫秒内动作,切断故障线路,避免故障电流对设备和系统的进一步损害。继电保护装置还具有选择性,能够准确判断故障位置,仅切除故障设备,最大限度地减少停电范围。然而,随着电力系统的复杂性不断增加,继电保护装置面临着更高的要求。在分布式电源接入和智能电网环境下,故障电流的特性发生了变化,传统的继电保护原理和整定方法可能不再适用。

3 电力系统稳定性控制方法的应用与优化

电力系统稳定性控制方法在实际电网运行中得到了广泛应用。随着电网规模的不断扩大和复杂程度的显著提升,传统的控制方法在应对复杂电网结构时逐渐暴露出一些局限性。在多电源、多负荷的大型互联电网中,传统的控制策略往往难以实现全局优化,局部控制措施可能会对其他区域产生不利影响,甚至引发连锁反应^[5]。这种现象在电网的动态过程中尤为明显,尤其是在系统受到较大扰动时,传统控制方法的响应速度和调节精度可能无法满足快速恢复稳定的要求。电网的拓扑结构变化频繁,如线路检修、设备故障等情况时有发生,传统控制方法的适应性不足,难以在短时间内重新调整控制策略以适应新的运行状态。

新能源的接入进一步加剧了电力系统稳定性的挑战。风能、太阳能等新能源具有间歇性、波动性和不确定性等特点,其大规模接入使得电力系统的电源结构和运行特性发生了显著变化。传统控制方法在应对新能源接入时,往往无法有效平抑新能源出力的波动,导致系统频率和电压的稳定性受到威胁。在风电场出力突然下降或光伏电站因云层遮挡而输出功率急剧变化时,系统需要迅速调整其他电源的出力或调节无功功率来维持稳定^[6]。现有控制方法在响应速度和调节精度上往往难以满足要求,容易引发频率越限或电压失稳等问题。新能源的接入还改变了电网的潮流分布,增加了系统运行的复杂性。

在这种情况下,传统的控制策略可能无法准确识别和应对新的潮流变化,从而影响系统的稳定性。

为了克服现有控制方法在复杂电网结构和新能源接入情况下的不足,必须进一步优化控制策略。一方面,引入智能控制技术是提升控制效果的重要途径。基于人工智能算法的智能控制器可以实时监测电网运行状态,快速识别系统中的异常情况,并自适应地调整控制策略。这种智能控制技术能够有效提高系统的响应速度和调节精度,增强对复杂电网结构和新能源接入的适应性。另一方面,优化控制参数也是提升控制效果的关键。通过对现有控制方法的参数进行精细化调整,可以更好地适应电网运行状态的变化,提高控制效果。调整自动发电控制(AGC)的调节速率和死区范围,可以使其在新能源接入的情况下更好地维持系统频率稳定;优化无功功率补偿装置的控制参数,可以有效改善电网电压质量。

4 结论与展望

电力系统稳定性分析与控制方法的研究对于保障电力系统安全运行具有至关重要的意义。电力系统作为现代社会能源供应的核心基础设施,其稳定性直接关系到经济的稳定发展、社会的正常运转以及千家万户的日常生活。随着全球能源转型的加速推进,以及新能源发电技术的广泛应用,电力系统面临着前所未有的复杂性和不确定性^[7]。传统电力系统的稳定性分析与控制方法在应对新型电力系统时,暴露出诸多不足,例如在新能源高渗透率、分布式电源大量接入、电网拓扑结构动态变化等场景下,系统的稳定运行面临巨大挑战。

通过深入分析电力系统稳定性的理论基础,结合多种控制策略,并将其应用于实际电力系统运行中,研究者们已经取得了一系列重要成果。在静态稳定性分析方面,通过改进潮流计算方法和优化系统参数,有效提高了系统的静态稳定性;在暂态稳定性控制中,利用先进的故障检测技术和快速控制策略,显著缩短了系统恢复时间。这些成果仍无法完全满足未来电力系统的发展需求。随着智能电网技术的不断进步,电力系统的运行模式和控制方式正在发生深刻变革。未来,电力系统将更加智能化、分布式化和柔性化,这既为稳定性研究带来了新的机遇,也提出了更高的要求。

展望未来,电力系统稳定性研究将面临更多的

机遇与挑战。随着能源转型的持续推进,新能源发电占比将进一步提高,电力系统的稳定运行将更加依赖于先进的分析与控制技术^[8]。必须进一步深化电力系统稳定性理论研究,拓展控制技术的应用范围。一方面,要加强对复杂电力系统动态行为的建模与分析,提高对系统稳定性的预测能力;另一方面,要积极探索新型控制技术与传统控制策略的融合,提升电力系统的稳定性和可靠性。

5 结语

电力系统稳定性分析与控制方法的研究是保障电力系统安全运行的关键。通过深入分析理论基础、优化控制策略并结合实际应用,研究为电力系统稳定性提升提供了有力支持。需进一步深化理论研究,拓展控制技术应用范围,推动电力系统稳定性不断提升,为能源可持续发展提供坚实保障,助力构建清洁低碳、安全高效的能源体系。

参考文献

- [1] 冯朝辉.机电照明设备安装精度对电力系统稳定性的影响研究[J].中国照明电器,2025,(02):166-168.
- [2] 郝鹏举.新能源发电并网技术的电力系统稳定性分析[J].电力设备管理,2025,(02):159-161.
- [3] 夏爱标.基于同步相量测量的电力系统稳定性分析与控制策略研究[J].现代工业经济和信息化,2024,14(12):285-287.
- [4] 郑骆.面向电力工程的高精度测量技术与数据分析[J].仪器仪表用户,2024,31(12):91-93.
- [5] 刘星,张建峰,田波,等.大型水电站单机容量对电网安全稳定运行影响分析[J].水利科技,2024,(04):71-74.
- [6] 许颖.新能源并网对电力系统稳定性的综合影响及优化策略[J].光源与照明,2024,(11):237-239.
- [7] 肖雄英,杨帆.时变时滞多区域互联电力系统滑模负荷频率控制方法[J].上海电力大学学报,2024,40(05):397-404.
- [8] 徐文林,肖湘晨,张璨辉,等.电力电子化电力系统电压转角动态稳定性建模分析方法[J].电源学报,2025,23(01):173-180.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS