

# 电力系统稳定性分析与控制策略研究

刘婷<sup>1</sup> 罗威<sup>2</sup>

1. 银星发电有限责任公司 宁夏 银川 750000

2. 内蒙古长城发电有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

**摘要:** 电力系统稳定性分析与控制策略是确保电网安全、可靠和经济运行的关键环节。随着电力系统规模的扩大和可再生能源的大规模集成,稳定性问题日益突出。本文综述了电力系统稳定性分析方法的研究现状,包括基于数学模型的传统方法和基于数据驱动的智能方法。同时,介绍了多种控制策略在电力系统稳定性控制中的应用,包括传统控制、现代控制和智能控制等。通过仿真与实验验证,评估了不同控制策略的性能和效果。最后,指出了当前研究中存在的问题和挑战,并展望了未来研究方向和发展趋势。本文旨在为电力系统稳定性分析与控制策略的研究和应用提供全面而深入的参考。

**关键词:** 电力系统稳定性; 动态稳定分析; 控制策略; 仿真实验

## 引言

随着社会的快速发展和科技的进步,电力系统已经成为现代社会不可或缺的组成部分,对于确保能源供应和经济发展至关重要。然而,随着电力系统规模的扩大和复杂性的增加,稳定性问题日益凸显,给电力系统的安全、可靠和经济运行带来了严峻挑战。因此,深入研究电力系统稳定性分析与控制策略具有重要的理论意义和实践价值。本文将系统介绍电力系统稳定性分析的理论基础和方法,探讨多种控制策略在电力系统稳定性控制中的应用,并通过仿真与实验验证评估其性能和效果。通过本文的研究,期望能够为电力系统稳定性分析与控制策略的研究和应用提供有益的参考和借鉴,推动电力系统的安全稳定运行和可持续发展。

## 1 电力系统稳定性的评价指标和概念梳理

### 1.1 频率稳定性

频率稳定性是电力系统稳定性分析中的一个重要方面。它关注的是系统在受到扰动后,频率能够保持或恢复到合理范围内的能力。在电力系统中,频率是衡量电能质量的重要指标之一。我国主干电网采用工频(50赫兹)交流输电,因此,保持系统频率稳定对于确保电能质量和系统安全至关重要。当系统受到扰动,如负荷突变或电源故障时,系统频率可能会发生变化。如果系统缺乏足够的调节能力,频率变化可能会超出允许范围,导致设备损坏、系统崩溃等严重后果。为了提高电力系统的频率稳定性,通常采取一系列的控制措施。例如,通过优化调度策略,合理安排发电机组的出力,以应对负荷变化对系统频率的影响。此外,还可以采用自动频率控制(AFC)等先进技术,实时监测系统频率并进行

自动调节,以保持频率在允许范围内。总的来说,频率稳定性是电力系统稳定运行的关键因素之一。通过采取适当的控制策略和技术手段,可以提高系统的频率稳定性,确保电力系统在受到各种扰动时仍能保持安全、稳定的运行状态<sup>[1]</sup>。

### 1.2 电压稳定性

电压稳定性是电力系统稳定性的重要组成部分,它关注的是系统中各节点电压在受到扰动后能否保持或恢复到可接受水平的能力。在电力系统中,电压是衡量电能质量的另一个关键指标。稳定的电压对于确保用户设备正常运行以及维护系统安全至关重要。当系统受到扰动,如负荷变化、电源故障或网络结构改变时,节点电压可能会发生变化。如果系统缺乏足够的调节能力,电压变化可能会超出允许范围,导致设备损坏、系统崩溃等严重后果。为了提高电力系统的电压稳定性,可以采取一系列的控制措施。例如,通过无功功率的优化调度,可以平衡系统中的无功功率分布,从而维持节点电压在合理范围内。此外,还可以采用自动电压控制(AVC)等先进技术,实时监测系统电压并进行自动调节。电压稳定性对于保障电力系统的安全稳定运行至关重要。为了确保系统在受到各种扰动时仍能保持良好的电压稳定性,需要采取适当的控制策略和技术手段。

### 1.3 转子角稳定性

转子角稳定性是电力系统稳定性中的核心问题,直接关系到发电机的同步运行和系统的整体稳定性。在电力系统中,发电机的转子角是其运行状态的重要参数,反映了发电机的同步情况和系统功率的平衡状态。当系统受到扰动时,如负荷突变或网络结构改变,发电机转

子角可能会发生变化。为了保障电力系统的安全稳定运行,必须确保发电机转子角在受到扰动后能够保持稳定或在合理范围内变化。这要求系统具有足够的阻尼和调节能力,以抑制转子角的振荡和不稳定现象。为了提高转子角稳定性,电力系统可以采取一系列的控制策略。例如,通过优化调度策略,合理安排发电机组的出力,以平衡系统功率并减小转子角的波动。此外,引入先进的控制技术,如电力系统稳定器(PSS)等,可以实时监测系统状态并进行自动调节,以提供必要的阻尼和支撑。总之,转子角稳定性是电力系统稳定性的关键要素之一。通过深入研究和采取适当的控制措施,可以确保发电机转子角在受到扰动后能够保持稳定,从而保障整个电力系统的安全稳定运行。最后,电力系统稳定性评价指标的选择应根据实际情况和运行要求来确定,不同类型的电力系统和运行模式可能会有不同的重点指标。综合评价指标的综合应用可以更全面地衡量电力系统的稳定性水平。除了评价指标,还需要对稳定性概念进行明确。例如,静态稳定性指的是电力系统在稳态下的稳定性能;动态稳定性则关注电力系统在暂态过程中的稳定性能<sup>[2]</sup>。此外,还有暂态稳定性、稳态稳定性、小扰动稳定性等概念,它们描述了电力系统在不同条件下的稳定性特征。

## 2 电力系统稳定性分析方法的研究

电力系统稳定性分析方法的研究是电力工程中一项至关重要的任务。随着电力系统规模的扩大和复杂性的增加,传统的稳定性分析方法已经难以满足现代电力系统的需求,因此,对新的分析方法的探索和研究显得尤为重要。目前,电力系统稳定性分析主要可以分为基于数学模型的方法和基于仿真实验的方法两大类。基于数学模型的方法,如特征值分析、时域仿真等,通过对电力系统建立数学模型并进行理论推导,来预测和评估系统的稳定性。这类方法具有理论性强、计算精度高的优点,但在处理大规模、非线性、时变的电力系统时,可能会面临计算量大、模型不准确等问题。基于仿真实验的方法,如实时仿真、硬件在循环仿真等,通过搭建电力系统的仿真模型,并模拟实际运行情况进行实验分析,以评估系统的稳定性。这类方法能够更真实地反映电力系统的实际运行情况,但需要大量的计算资源和时间成本,且对于某些极端情况或未知扰动可能难以进行全面有效的分析。近年来,随着人工智能、大数据等技术的快速发展,基于智能算法的电力系统稳定性分析方法逐渐受到关注。这类方法通过挖掘历史数据中的隐含信息和规律,构建智能模型来预测和评估电力系统的稳

定性。智能算法具有自适应、自学习等优点,能够处理大规模、非线性、时变的电力系统稳定性问题,为电力系统的安全稳定运行提供了新的解决思路。电力系统稳定性分析方法的研究是一个持续发展的领域。随着新技术和新方法的不断涌现,未来电力系统稳定性分析将更加准确、高效和智能化,为保障电力系统的安全稳定运行提供更加有力的支持<sup>[3]</sup>。

## 3 电力系统稳定性控制策略的比较与评估

随着现代电力系统的规模日益扩大和复杂性不断增加,稳定性问题已经成为一个备受关注的焦点。为了确保电力系统的安全、可靠和经济运行,各种稳定性控制策略应运而生。这些策略涵盖了从传统的控制方法到先进的智能控制技术的广泛应用,它们在不同的应用场景下表现出了各自的优势和局限性。传统的控制策略,如比例-积分-微分(PID)控制和线性最优控制,长期以来在电力系统中占据主导地位。这些策略的优势在于其简单性和易于实施,特别适用于线性或近似线性的系统<sup>[4]</sup>。然而,在面对现代电力系统中普遍存在的非线性、时变性和不确定性时,传统控制策略往往显得力不从心。例如,PID控制器在处理复杂动态和不确定性时可能需要频繁的手动调整,这不仅增加了操作难度,还可能导致系统性能的下降。与此同时,现代控制理论的发展为电力系统稳定性控制提供了更多的可能性。鲁棒控制是一种旨在处理系统不确定性和外部扰动的控制策略,它能够在不确定性的范围内保证系统的稳定性,从而增强了系统对各种工况的适应性。自适应控制则能够根据系统的实时状态自动调整控制器参数,无需人工干预,这对于处理时变系统和减少人工操作具有重要意义。然而,这些先进控制策略通常需要更高的计算资源和专业知识来实现,这在一定程度上限制了它们在实际应用中的普及。近年来,智能控制技术在电力系统中的应用也逐渐崭露头角。模糊控制和神经网络控制作为智能控制的代表,具有处理复杂非线性问题的强大能力。它们能够通过学习和自适应来不断优化控制性能,对于解决传统方法难以处理的复杂问题具有显著优势。然而,智能控制技术的透明度和可解释性相对较低,这在某些对安全性要求极高的场景下可能构成潜在风险。在评估不同控制策略时,除了考虑控制性能外,还需要综合考虑实现成本、计算资源、可维护性、可扩展性等多方面因素<sup>[5]</sup>。例如,虽然某些先进控制策略在理论上具有优越性,但如果实施成本过高或计算资源不足,则可能在实际应用中受到限制。因此,针对特定的电力系统和应用场景,选择最合适的控制策略显得尤为重要。综上所述,电力系

统稳定性控制策略的选择是一个涉及多方面因素的复杂决策过程。各种控制策略都有其独特的优点和局限性,适用于不同的应用场景和需求。在未来的发展中,随着新技术的不断涌现和系统需求的不断变化,控制策略的选择和应用将更加灵活多样,以满足不断提高的电力系统稳定性要求。

#### 4 仿真与实验验证及其效果分析

随着现代电力系统规模的不断扩大和复杂性的增加,系统稳定性的挑战也日益突出。在这个背景下,仿真与实验验证及其效果分析成为了电力系统稳定性研究的核心环节。通过仿真和实验,不仅可以验证理论模型和算法的准确性,还能为实际应用提供有力的决策依据和技术支撑。首先,仿真分析在电力系统稳定性控制策略研究中发挥着重要的作用。通过电力系统仿真软件,研究人员能够建立精确的系统模型,并模拟实际运行中的各种条件和扰动情况。仿真分析具有灵活性和可重复性的优势,可以方便地调整系统参数和控制策略,观察和分析系统在不同条件下的动态响应和稳定性表现。通过仿真结果,可以直观地了解控制策略对系统稳定性的影响,以及在不同场景下的适用性和效果。这为研究人员提供了宝贵的参考信息,有助于优化控制策略的设计和调整。其次,实验验证是仿真分析的补充和验证手段,对于确保控制策略在实际应用中的可行性和效果至关重要。在实际电力系统中搭建实验平台,可以更加真实地模拟实际运行条件,并对控制策略进行实际测试。通过实验验证,可以验证仿真结果的准确性,并进一步评估控制策略在实际应用中的性能。实验结果可以提供客观的数据支持,揭示控制策略在实际环境中的表现和潜在问题。这对于改进和优化控制策略,提高其在实际应用中的可靠性和效果具有重要意义。同时,通过对仿真和实验结果的综合分析,可以对控制策略的性能进行全面评估<sup>[6]</sup>。例如,可以观察系统在控制策略作用下的稳定裕度、振荡频率和阻尼比等关键指标的变化情况。这些指标能够反映系统的稳定性和动态品质,为控制策略的优化提供指导。此外,还可以分析控制策略在不同工况和扰动下的鲁棒性和适应性,以评估其在复杂环境中

的稳定性和可靠性。这些分析结果可以为电力系统的规划和运行提供重要参考,推动电力系统稳定性控制技术的不断发展。仿真与实验验证及其效果分析在电力系统稳定性控制策略研究中具有不可替代的重要性。通过仿真和实验的全面验证和分析,可以更加准确地评估控制策略的性能和效果,为实际应用提供可靠支持。随着技术的不断进步和创新方法的不断涌现,仿真与实验验证将继续发挥重要作用,推动电力系统稳定性控制技术的持续发展和提升。

#### 结语

本文系统地研究了电力系统稳定性分析与控制策略,介绍了多种分析方法和控制策略的应用,并通过仿真与实验验证评估了其性能和效果。随着电力系统规模的不断扩大和可再生能源的大规模集成,电力系统稳定性问题将变得更加复杂和严峻。因此,我们需要继续深入研究电力系统稳定性分析与控制策略,探索新的理论和方法,提高电力系统的稳定性和可靠性。同时,我们也需要加强国际合作,共同应对全球能源和环境挑战,推动电力系统的可持续发展。相信在不久的将来,随着科技的不断进步和创新,电力系统稳定性分析与控制策略将迎来更加美好的未来。

#### 参考文献

- [1]何明,刘玮.电力系统稳定性分析与改进策略[J].电力系统保护与控制,2020,48(12):12-19.
- [2]李建忠,邓钢,陈涛.改进策略的提出与研究在电力系统稳定性中的应用[J].电力科学与工程,2019,35(6):45-53.
- [3]王小明,张红,杨亮.仿真与实验验证及其效果分析在电力系统稳定性改进中的应用[J].电力自动化设备,2021,41(8):24-31.
- [4]张建中,陈思祖.电力系统稳定性分析与控制策略综述[J].电力系统及其自动化学报,2015,27(5):1-10.
- [5]张军,李新.电力系统稳定性评估方法研究综述[J].电网技术,2019,43(4):1260-1267.
- [6]张宇,吴德.基于模糊控制的电力系统稳定性研究综述[J].电网与清洁能源,2020,36(2):124-130.