

# Research on the Stability Analysis and Optimization Control Technology of Electric Power System

Ru Meng

State Grid Shandong Electric Power Company Heze City Dingtao District Power Supply Company, Heze, Shandong, 274100, China

## Abstract

This paper studies the stability analysis and optimization control technology of power system. First of all, the paper systematically combs the basic theory and stability analysis method of power system stability, including stability definition, classification, dynamic model, simulation technology, evaluation method and influencing factors. On this basis, the paper further discusses the application of optimal control theory in power system, and analyzes the optimization control technology of power generation, transmission, distribution and microgrid and distributed generation system. In order to improve the stability of power system, this paper also studies the application of advanced optimization control algorithm in power system, including genetic algorithm, particle swarm optimization algorithm and deep learning, etc., and evaluates and compares the application effect of these algorithms.

## Keywords

power system; optimization control technology; stability analysis

# 电力系统稳定性分析与优化控制技术研究

孟茹

国网山东省电力公司菏泽市定陶区供电公司, 中国·山东 菏泽 274100

## 摘要

论文深入研究了电力系统稳定性分析与优化控制技术。首先, 论文对电力系统稳定性的基础理论和稳定性分析方法进行了系统的梳理, 包括稳定性定义、分类、动态模型、仿真技术、评估方法以及影响因素等。在此基础上, 论文进一步探讨了优化控制理论在电力系统中的应用, 并详细分析了发电、输电、配电以及微电网与分布式发电系统的优化控制技术。为提升电力系统的稳定性, 论文还研究了先进优化控制算法在电力系统中的应用, 包括遗传算法、粒子群优化算法以及深度学习等, 并对这些算法的应用效果进行了评估与比较。

## 关键词

电力系统; 优化控制技术; 稳定性分析

## 1 引言

随着电力工业的快速发展和电网规模的不断扩大, 电力系统的稳定性问题日益凸显, 成为影响电能质量和电力系统安全运行的关键因素。稳定性分析作为评估电力系统运行状态的重要手段, 对于预防系统崩溃、保障供电可靠性具有至关重要的意义。同时, 随着信息技术的飞速发展和智能化水平的提升, 优化控制技术在电力系统中的应用也日益广泛, 为电力系统的稳定运行和能效提升提供了新的解决方案。

电力系统稳定性是指系统在受到扰动后能够保持正常运行状态或恢复到正常运行状态的能力。它涉及发电、输电、配电等多个环节, 是电力系统安全、经济、高效运行的重要保障。然而, 由于电力系统的复杂性和不确定性, 稳定性问

题一直是电力领域的研究热点和难点。

## 2 电力系统稳定性基础理论

电力系统稳定性, 作为电力系统运行的重要评价指标, 是确保电能连续、可靠供应的关键所在。其基础理论涉及电力系统的动态行为、故障响应以及恢复能力等多个方面, 对于电力系统的规划、设计、运行和维护都具有指导意义。

电力系统稳定性主要指的是在遭受各种扰动后, 系统能够保持或迅速恢复到正常运行状态的能力。这种扰动可能来自内部, 如设备故障、负荷变化等, 也可能来自外部, 如自然灾害、人为操作失误等。

在电力系统稳定性的基础理论中, 动态模型是分析的基础。这些模型描述了电力系统各元件(如发电机、变压器、线路等)的数学关系, 以及它们之间的相互作用。通过建立这些模型, 我们可以对电力系统的动态行为进行仿真和分

【作者简介】孟茹(1986-), 中国山东菏泽人, 本科, 工程师, 从事电力系统及其自动化研究。

析,从而预测系统在各种扰动下的响应。

稳定性评估方法也是稳定性基础理论的重要组成部分。这些方法通常基于数学分析和仿真技术,通过计算电力系统的特征量(如阻尼比、振荡频率等)来评估系统的稳定性。常用的评估方法包括时域仿真法、频域分析法以及能量函数法等。这些方法各有优缺点,适用于不同的分析场景和需求。

此外,稳定性基础理论还涉及稳定性的分类问题。根据扰动的性质和系统的响应特点,电力系统稳定性可以分为静态稳定性和动态稳定性两大类。静态稳定性主要关注系统在平衡点附近的稳定性,而动态稳定性则关注系统在遭受大扰动后的暂态过程。

在电力系统的实际运行中,稳定性还受到多种因素的影响,如负荷变化、电源出力调整、网络结构变化等。

### 3 电力系统稳定性分析方法

电力系统稳定性分析是评估系统在受到各种扰动后能否维持或迅速恢复到正常运行状态的关键过程。为了确保电力系统的安全、可靠运行,需要采用一系列科学有效的方法来深入分析其稳定性<sup>[1]</sup>。

时域仿真法是电力系统稳定性分析的基础方法之一。该方法通过建立电力系统的动态模型,利用计算机仿真技术模拟系统在特定扰动下的暂态过程。通过观察仿真结果中的电压、电流、功率等关键参数的变化,可以判断系统是否具备足够的稳定性。时域仿真法具有直观、准确的优点,能够模拟各种复杂场景,因此在电力系统稳定性分析中得到了广泛应用。

频域分析法也是常用的电力系统稳定性分析方法之一。该方法基于系统的传递函数或频响函数,通过分析系统在不同频率下的响应特性来评估其稳定性。频域分析法能够揭示系统的振荡模式和阻尼特性,有助于深入理解系统的动态行为。然而,该方法通常需要对系统进行线性化处理,因此在处理非线性或时变系统时可能存在一定的局限性。

能量函数法为电力系统稳定性分析提供了另一种思路。该方法通过构造一个与系统状态相关的能量函数,利用能量守恒原理来分析系统的稳定性。当系统受到扰动时,能量函数的变化可以反映系统稳定性的变化。能量函数法具有物理意义明确、计算简便的优点,特别适用于大型电力系统的稳定性分析。

近年来,随着人工智能技术的快速发展,机器学习和深度学习等方法也逐渐被引入到电力系统稳定性分析中。这些方法通过大量的数据学习和训练,能够自动识别和预测系统的稳定性状态,为电力系统的实时监测和预警提供了有力支持。然而,这些方法的应用仍处于探索阶段,需要进一步研究和完善。

### 4 电力系统优化控制理论基础

电力系统优化控制理论基础是确保电网安全、稳定和

经济运行的关键所在。它结合了现代控制理论、优化算法和电力系统的实际运行特性,旨在通过合理的控制策略来提升系统的整体性能。

优化控制理论的核心在于建立一个合适的数学模型来描述电力系统的动态行为,并基于该模型设计控制策略,使得系统在某些性能指标上达到最优。这些性能指标可以是电能质量、经济性、环保性或者是系统稳定性等。通过选择合适的优化算法,如线性规划、动态规划、遗传算法等,我们可以在满足系统约束条件的前提下,找到最优的控制策略。

在电力系统优化控制中,状态估计和预测是至关重要的环节。通过对系统状态的实时估计和预测,我们可以及时获取系统的运行信息,为优化控制策略的制定提供数据支持。同时,优化控制还需要考虑系统的不确定性因素,如负荷波动、设备故障等,以确保控制策略在实际运行中的鲁棒性和可靠性。

此外,电力系统优化控制还需要关注系统的分层和协调控制。由于电力系统是一个复杂的网络结构,包含发电、输电、配电等多个环节,因此优化控制策略需要考虑到不同层级之间的相互影响和协调。通过分层控制,我们可以将复杂的优化问题分解为多个相对简单的子问题,降低求解难度。而协调控制则能够确保不同层级之间的控制策略相互补充、相互支持,实现整体性能的最优。

### 5 基于优化控制的电力系统稳定性提升技术

随着电力工业的快速发展和电网规模的不断扩大,电力系统的稳定性问题日益凸显。为了提升电力系统的稳定性,基于优化控制的稳定性提升技术应运而生,成为当前研究的热点和关键技术之一。

优化控制技术在电力系统稳定性提升中的应用主要体现在发电、输电、配电等各个环节。在发电环节,通过优化发电机的控制策略,可以有效地改善电力系统的动态响应特性,提高系统的稳定性。例如,采用先进的控制算法对发电机进行励磁控制,可以快速调整发电机的输出电压和功率,以应对负荷变化和故障扰动,从而保持系统的稳定运行。

在输电环节,优化控制技术同样发挥着重要作用。通过优化输电线路的控制参数和策略,可以减少线路上的功率损耗和电压波动,提高输电系统的稳定性。

在配电环节,优化控制技术也展现出了巨大的潜力。通过优化配电网络的拓扑结构和运行方式,可以减少网络中的功率不平衡和电压波动,提高配电系统的稳定性。同时,还可以利用智能配电管理系统对配电网络进行实时监测和优化控制,实现电能的合理分配和高效利用。

除了在各个环节单独应用优化控制技术外,还可以采用协同优化的方法,将发电、输电、配电等环节的控制策略进行集成和协调,实现整个电力系统的优化运行。通过综合考虑各个环节的相互影响和约束条件,可以制定出更加合理

和有效的控制策略,进一步提升电力系统的稳定性。

此外,随着人工智能技术的快速发展,深度学习、强化学习等先进算法也被引入到电力系统稳定性提升中。这些算法能够处理大量的数据和信息,自动学习和优化控制策略,为电力系统的稳定运行提供了更加智能和高效的解决方案<sup>[2]</sup>。

## 6 先进优化控制算法在电力系统中的应用

随着科技的不断进步,先进优化控制算法在电力系统中的应用日益广泛,为电力系统的稳定运行和性能提升提供了强大的技术支持。这些算法通过精确的数学模型和高效的计算技术,实现对电力系统运行状态的实时监测和优化控制,从而确保电能的可靠供应和系统的安全稳定。

在电力系统调度方面,先进优化控制算法发挥着至关重要的作用。通过构建复杂的数学模型,这些算法能够综合考虑多种因素,如电源出力、负荷需求、网络约束等,制定出最优的调度计划。这不仅可以降低运行成本,提高经济效益,还能有效减少因调度不当而引发的系统风险。

在电力系统故障处理方面,先进优化控制算法同样展现出强大的能力。通过实时监测系统的运行状态,这些算法能够迅速识别故障并采取相应的控制措施。例如,在发生线路故障时,算法可以自动调整潮流分布,避免故障扩散,同时确保重要负荷的供电不受影响。

此外,在电力系统的经济运行方面,先进优化控制算法也发挥着不可替代的作用。通过对系统的运行数据进行深度挖掘和分析,算法能够找到影响经济运行的关键因素,并提出针对性的优化建议。这有助于降低系统的能耗和排放,提高能源利用效率,实现电力系统的绿色可持续发展。

值得一提的是,随着人工智能技术的不断发展,越来越多的先进优化控制算法被引入到电力系统中。这些算法通过机器学习、深度学习等技术,实现对电力系统运行状态的智能预测和控制。它们能够自动适应系统的变化,不断优化控制策略,为电力系统的稳定运行提供更加智能和高效的解决方案。

## 7 电力系统稳定性优化控制的实践与挑战

在电力工业发展的长河中,电力系统的稳定性优化控制一直是核心议题。随着技术的进步和需求的增长,稳定性的优化控制实践取得了显著的成果,但同时也面临着诸多挑战。

在实践方面,电力系统稳定性优化控制取得了长足的进步。一方面,通过引入先进的控制算法和优化技术,如线性规划、动态规划、遗传算法等,电力系统在遭受各种扰动

时能够更快速地恢复稳定状态。另一方面,随着智能电网的建设和可再生能源的接入,电力系统的运行更加灵活和智能,为优化控制提供了更多的可能性和手段<sup>[3]</sup>。

在实践的同时,我们也面临着诸多挑战。首先,电力系统的复杂性给优化控制带来了极大的难度。电力系统是一个庞大的网络结构,包含发电、输电、配电等多个环节,各环节之间相互影响、相互制约,因此在进行优化控制时需要综合考虑多个因素,制定出合理的控制策略。

可再生能源的接入使得电力系统的运行特性变得更加复杂和多变。可再生能源如风能、太阳能等具有间歇性和随机性,其接入电力系统后会对系统的稳定性和可靠性产生影响。因此,如何在保证可再生能源充分利用的同时,确保电力系统的稳定运行,是优化控制面临的重要挑战。

随着电力市场的逐步开放和竞争的加剧,电力系统的经济性也成为优化控制需要考虑的重要因素。如何在满足系统稳定性要求的前提下,降低运行成本、提高经济效益,是优化控制实践中需要解决的问题。

数据安全和隐私保护也是电力系统稳定性优化控制面临的挑战之一。在智能电网建设中,大量的数据和信息需要在各个环节之间进行传输和共享,如何确保数据的安全性和隐私性,防止数据泄露和滥用,是优化控制实践中需要重视的问题。

## 8 结论

电力系统稳定性优化控制作为电力工业发展的核心技术之一,已经取得了显著的实践成果。通过引入先进的控制算法和优化技术,电力系统的稳定性得到了有效提升,能够更好地应对各种扰动和故障。同时,智能电网的建设和可再生能源的接入为电力系统稳定性优化控制提供了更多的机遇和挑战。在实践中,我们不断探索新的控制策略和优化方法,提高了电力系统的运行效率和可靠性。

然而,我们也必须清醒地认识到,电力系统稳定性优化控制仍面临着诸多挑战。电力系统的复杂性、可再生能源的接入、电力市场的竞争以及数据安全和隐私保护等问题都需要我们进一步研究和解决。

### 参考文献

- [1] 丁刚.电力系统安全自动控制与继电保护研究[J].电气技术与经济,2024(1):146-148.
- [2] 刘佳,朱兴江,朱珂弘.重庆电网的新型电力系统稳定性探讨研究[J].产业创新研究,2023(24):66-68.
- [3] 唐艳.电力系统供电负荷稳定性优化控制分析[J].光源与照明,2023(8):201-203.