

Analysis of Voltage Regulation and Stability of Power System

Junzhi Gao

Tangshan Electric Power Construction and Installation Co., Ltd., Yutian Xindi Branch, Tangshan, Hebei, 064100, China

Abstract

With the continuous expansion and development of power systems, voltage regulation and stability issues have garnered increasing attention. Voltage regulation serves as a critical technology for ensuring the safe and stable operation of power systems, directly impacting both power quality and equipment performance. It involves not only responding to load fluctuations but also considering multiple factors such as system capacity, line characteristics, and operational modes. This paper analyzes the importance and functions of voltage regulation in power systems, introduces its fundamental principles and common regulation methods, and further explores the key factors affecting voltage regulation. Through research on voltage regulation and stability in power systems, the paper proposes recommendations to enhance operational efficiency and safety.

Keywords

power system; voltage regulation; stability; intelligent control; load fluctuation

电力系统电压调节与稳定性分析

高俊志

唐山电力建筑安装有限公司玉田鑫迪分公司, 中国·河北 唐山 064100

摘要

随着电力系统规模的不断扩大与发展, 电压调节与稳定性问题日益受到关注。电压调节是保障电力系统安全、稳定运行的关键技术, 直接影响到电力系统的电能质量和设备的正常运行。电力系统的电压调节不仅包括对负荷波动的响应, 还需要考虑系统的容量、线路特性及运行模式等多方面的因素。本文分析了电力系统电压调节的重要性与作用, 介绍了其基本原理与常用的调节方法, 进一步探讨了影响电压调节的主要因素, 通过对电力系统电压调节与稳定性的研究, 提出了提升电力系统运行效率和安全性的相关建议。

关键词

电力系统; 电压调节; 稳定性; 智能化控制; 负荷波动

1 引言

电力系统作为现代社会的重要基础设施, 其稳定性对国家经济发展与民生保障至关重要。电力系统中, 电压作为基础参数之一, 其调节与稳定性直接影响到系统的可靠性和电能质量。近年来, 随着电力负荷的多样化与电力源的分布式接入, 电压调节的难度和复杂性大大增加。电压调节不仅涉及到传统的变压器调节、发电机励磁控制, 还需要借助现代化的智能化控制系统与电力设备。针对这一背景, 电压调节与稳定性问题逐渐成为电力系统研究的热点。本文将系统地探讨电力系统电压调节的基本概念、影响因素及其稳定性分析, 提出切实可行的调节方法与解决方案, 为电力系统的安全运行提供理论支持。

2 电力系统电压调节的基本概念

2.1 电压调节的重要性与作用

电力系统中的电压调节至关重要, 其作用在于保证电力系统在不同负荷变化下的稳定运行。电压不稳定或过低将导致电力设备损坏, 影响设备的效率和寿命; 而过高的电压则可能导致电气设备的过载, 甚至引发故障或电气火灾。电压调节不仅保证了电力系统的稳定性, 还能确保用户用电质量, 减少电能损失, 提高电力传输效率。随着电力系统规模的不断扩展, 调节范围与复杂度也随之增加, 这要求电压调节系统具备更高的精度和响应速度, 以应对日益增长的用电需求和电力设备的多样化。

2.2 电压调节的基本原理

电压调节主要依赖于改变电力系统中不同电气设备的操作状态来维持稳定的电压水平。电力系统中的电压调节通过调整变压器的调压装置、发电机的励磁系统以及调节分布式发电源的输出, 来确保电压的稳定。通过控制系统对电压的实时监控, 能够在负荷波动或设备故障的情况下及时调整

【作者简介】高俊志 (1979-), 男, 中国河北唐山人, 本科, 从事电力系统综合管理研究。

系统的电压水平。此过程依赖于反馈机制，在电压偏差出现时，通过调节设备的调控动作来纠正电压偏差，最终使电压维持在设定的安全范围内。

2.3 电压调节的主要方法与技术

电压调节的主要方法包括自动调压、人工调节以及现代的智能化调节技术。自动调压是通过调节变压器的分接开关、调节发电机的励磁电流等方式自动调节电压，这种方法常用于大规模的电网中。人工调节通常适用于负荷较小或特殊情况下的系统。近年来，随着智能化技术的发展，电压调节开始依赖于自动化控制系统与实时监测系统。通过对电压调节过程进行大数据分析，智能系统能够预判电压变化趋势，提前进行电压调节，大大提高了电压稳定性和电力系统的响应速度^[1]。

3 电力系统电压调节的影响因素

3.1 系统负荷的变化

电力系统的负荷变化直接影响到电压的稳定性。负荷增加时，电力需求增大，电网中的电压容易下降；负荷降低时，电压可能会升高。根据实际负荷的变化，电力系统需要实时调整各个电气设备的运行状态。例如，负荷增加时，发电机需要增加功率输出以满足负荷需求，而此时可能需要通过提高励磁电流来增强电压的稳定性。此外，系统负荷的波动还受到季节变化、气候条件、经济活动等多种因素的影响，这使得电压调节必须具备灵活性和精准性，才能确保在各种情况下保持电网的电压稳定。

3.2 输电线路的参数与状态

输电线路的状态和参数对电压调节有重要影响。输电线路的电阻、电抗、线路长度等参数会影响电流的流动和电压的变化。当输电线路存在较高的电阻或电抗时，电压损失会增加，电力传输效率降低，从而影响到电压稳定性。此外，输电线路的老化、破损或负荷过载等情况会使电压调节变得更加困难，甚至可能引发电压波动或故障。因此，定期的输电线路检测与维护，对于确保电力系统的电压调节效果至关重要。

3.3 发电机的控制与运行模式

发电机的控制系统和运行模式直接影响到电力系统的电压调节性能。发电机的励磁系统是控制电压稳定性的重要环节，通过调节励磁电流，可以改变发电机的输出电压。根据系统的负荷变化，发电机需要实时调整其输出功率以维持系统的电压稳定。此外，发电机的运行模式，如同步发电与异步发电模式，也会对电压的调节产生不同的影响。在多发发电机并网的情况下，协调各个发电机的运行，合理分配功率输出，是确保电压稳定的关键^[2]。

4 电力系统电压稳定性的分析

4.1 电压稳定性的定义与分类

电压稳定性是指在电力系统中负荷变化、设备故障或

其他扰动下，系统能够维持正常电压水平的能力。电压稳定性可以分为静态电压稳定性和动态电压稳定性两类。静态电压稳定性指的是在长期负荷变化或设备配置调整情况下，系统能够维持稳定电压的能力。动态电压稳定性则描述了系统在受到扰动后的电压恢复能力，如发电机励磁调整或自动调压设备的作用。在正常运行条件下，电力系统的电压一般要求在10%以内波动。

4.2 电压稳定性的分析方法

电压稳定性分析通常采用直接法、逐步法以及灵敏度分析法等方法。直接法通过分析系统的电压-功率特性曲线，研究系统在负荷增大或设备故障时，电压的变化趋势，能够直观地揭示电压稳定性问题。逐步法通过逐步增加负荷，模拟电压下降的过程，计算系统在负荷增加过程中电压维持的极限。灵敏度分析法则通过对电力系统中各节点电压与系统参数之间的关系进行计算，评估不同因素对电压稳定性的影响^[3]。

4.3 电压稳定性的影响因素

电压稳定性受多种因素的影响，主要包括负荷变化、发电机输出、输电线路的状态以及电压调节设备的运行状态。负荷变化是影响电压稳定性的重要因素，尤其是突发负荷波动时，电压容易出现剧烈变化。例如，在夏季高峰负荷时，电网负荷增加30%以上，可能导致电压下降超过6%。发电机输出功率的波动也会对电压产生显著影响，尤其是在大型电网中，多个发电机并网时，其输出功率的不平衡可能导致电压波动。输电线路的电抗与电阻也会影响电压的稳定性，长距离输电或线路参数不匹配可能导致电压降幅过大。电压调节设备的性能，如变压器调压能力、自动调节装置的响应速度，也在很大程度上决定了电网的电压稳定性。电压调节设备的及时响应和调整可以有效防止电压的剧烈波动，从而提高电力系统的稳定性^[4]。

5 电力系统电压稳定性问题的解决方案

5.1 电压调节设备的选择与优化

电压调节设备的选择与优化对于提高电力系统的电压稳定性至关重要。常见的电压调节设备包括变压器、自动电压调节器、无功补偿设备等。变压器是电压调节的基础设备，通过调整分接开关来控制电压。自动电压调节器通过实时监测系统电压并自动调节发电机励磁电流来维持电压稳定。无功补偿设备，如静止无功补偿装置（SVC）和静止同步补偿器（STATCOM），能有效调节电网中的无功功率，提升电压的动态响应能力。为了确保电压调节的效率，电压调节设备的选择需要根据电网的实际负荷特性、地理位置及电网结构进行优化。通过合理配置设备与优化控制策略，可以使电压调节系统响应更迅速、调节范围更广。比如，在某些负荷较大的区域，可选择额外配置STATCOM，以减少电压波动；而在长距离输电线路上，则可增设电压调节变压器

以稳定电压。同时，通过定期的设备检测与维护，确保设备长期稳定运行，也有助于保障电力系统的电压稳定性。

5.2 智能化控制系统的应用

智能化控制系统的应用为电力系统的电压调节提供了全新的解决方案。与传统的人工调节和手动控制不同，智能化控制系统能够实时收集电力系统的各项数据，包括电压、负荷、功率因数等信息，通过大数据分析、机器学习等技术实现对电网状态的精准预测和实时调整。智能化控制系统能够自动识别电力系统中的电压波动并进行快速响应，不仅减少了人工操作的延迟，还提升了调节的精度与灵活性。通过对电力系统的实时监控和分析，智能化控制系统可以预测负荷变化趋势，提前进行电压调整。比如，系统通过分析过去的的数据，可以提前识别出负荷波动大的时段，提前做好电压调节准备，避免突发的电压波动造成电网崩溃。智能化控制系统还能优化电压调节设备的运行状态，自动切换不同的电压调节模式，使电网在复杂的运行条件下保持高效、稳定的运行。此外，智能化控制系统的自学习能力还能够根据电网的运行情况不断调整优化策略，以应对电力系统中不断变化的负荷与环境条件。

5.3 系统运行模式的优化与调整

电力系统的运行模式优化对于电压稳定性至关重要。合理的运行模式不仅能提升电网的运行效率，还能有效减少电压波动和系统失稳的风险。优化电力系统的运行模式首先要考虑合理分配负荷，并根据电网结构特点和负荷预测调整发电机的运行方式。例如，在负荷较低时，电网中的发电机可以通过并网运行，以保证各个电压节点的稳定，而在负荷高峰时，电网可能需要采取分时段调节或局部发电机停机的方式来缓解电压波动。在这种模式下，通过对负荷的动态调节，系统能够实现负荷的平衡，避免电压过高或过低的现象。除了负荷调度，电力系统还需优化电网的拓扑结构，通过合

理配置开关设备和电力线路，确保电流路径最优，避免因线路不平衡导致的电压不稳定。现代电力系统还可通过“分布式能源”与“虚拟电厂”技术来优化运行模式，这些创新的技术手段可以更灵活地调节各类发电资源，平衡负荷波动，增强系统的电压稳定性。通过优化系统运行模式，电力系统能够实现高效、安全、稳定的运行，提升电压调节的响应速度与准确性，确保电网在面对突发状况时能够迅速恢复稳定状态。

6 结语

电力系统的电压调节与稳定性是保障电力供应安全与高效运行的关键因素。通过合理选择与优化电压调节设备、应用智能化控制系统、优化系统运行模式，可以有效提高电压稳定性，确保电力系统在不同负荷波动、设备故障或其他外部扰动下依然能够保持稳定运行。电压调节设备的高效运作、智能控制系统的实时响应以及灵活的运行模式共同作用，增强了电力系统的适应性和韧性。在未来，随着电力需求的不断增长及可再生能源的广泛应用，电力系统将面临更多挑战，进一步提升电压调节与稳定性将成为电力行业持续发展的重要课题。通过持续创新与技术优化，电力系统的电压调节与稳定性问题有望得到更加高效与智能的解决。

参考文献

- [1] 杨军,骆亚帅,李伟,王伟,张红洁.有源配电系统电压调节仿真系统设计[J].东北电力技术,2025,46(10):7-12.
- [2] 刘贤斌.大规模光伏发电并网对电力系统稳定性影响与对策[J].电力设备管理,2025,(15):94-96.
- [3] 杨宴轮.分布式储能系统与电力系统自动化协同控制方案[A].第二届智能工程与经济建设学术研讨会论文集(四)[C].江西省工程师联合会:2025:511-514.
- [4] 马红杰.基于PLC技术的电力系统电压自动调节和控制方法[J].自动化技术与应用,2025,44(08):42-46+51.