

电力系统稳定性分析与自动化控制策略研究

郭明

宏基高新材料(宁夏)有限公司 宁夏银川 750000

摘要: 本文首先概述了电力系统稳定性的定义、分类及其重要性。随后,详细分析了当前电力系统稳定性的现状,包括面临的挑战和存在的问题。接着,本文探讨了电力系统稳定性的自动化控制策略,包括无功补偿和调压控制、调频控制、FACTS控制以及预测控制等策略。最后,总结了电力系统稳定性分析与自动化控制策略的重要性,并指出了未来研究方向。

关键词: 电力系统; 稳定性; 自动化控制

随着电力工业的迅速发展和电网规模的不断扩大,电力系统稳定性问题日益受到关注。电力系统稳定性是指电力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。电力系统稳定性不仅关系到电力系统的安全、可靠运行,还直接影响到国民经济的发展和人民生活的稳定。因此,对电力系统稳定性进行深入分析和研究,并采取相应的自动化控制策略,具有重要的现实意义和理论价值。

一、电力系统稳定性与自动化控制的定义

(一) 电力系统稳定性定义

电力系统稳定性是电力系统在经受各种扰动(包括负荷变化、设备故障和网络结构变动等)后,能够维持或恢复其正常运行状态的能力^[1]。这种能力是确保电力系统安全、可靠运行的核心。根据扰动的大小和性质,稳定性可细分为静态稳定、暂态稳定和动态稳定。静态稳定指的是系统在遭受小扰动(如负荷微变)后能够自动回归初始状态。暂态稳定则关注系统在经受大扰动(如设备故障或短路)后能否维持同步运行并过渡到新的或原有运行方式。动态稳定则涉及系统在扰动后长时间维持稳定状态的能力,通常涉及对系统动态特性如发电机和负荷动态响应的分析。

(二) 自动化控制定义

自动化控制是指通过应用自动控制装置、计算机和其他信息技术手段,对电力系统进行实时监测、数据收集、故障诊断、优化运行以及远程控制等一系列操作,旨在实现电力系统的安全、高效、经济运行。这一控制过程涵盖了数据采集与监视控制(SCADA—Supervisory Control and Data Acquisition)、自动发电控制(AGC—Automatic Generation Control)、自动电压控制(AVC—

Automatic Voltage Control)等多种功能。通过安装在电力系统各环节的传感器和监控设备,自动化控制能够实时收集电压、电流、功率等运行状态数据,并对这些数据进行深度分析,以发现潜在的安全隐患和故障,并提前发出预警。同时,自动化控制还能根据系统运行状态和负荷需求,自动调整发电机组的出力、电压等参数,以实现系统的优化运行。此外,通过远程通信和控制系统,自动化控制还实现了对电力系统各个环节的远程控制和操作,进一步提高了系统的灵活性和可靠性。随着自动化控制技术的不断发展和应用,电力系统的稳定运行和高效管理得到了强有力的支持,运行效率显著提升,运营成本降低,系统的安全性和可靠性也得到了增强。

二、电力系统稳定性现状分析

(一) 电力系统稳定性面临的挑战

随着电网规模的不断扩大和电力负荷的持续增长,电力系统面临的稳定性问题愈发复杂^[2]。首先,系统中存在大量的不确定性和随机性因素,如负荷的实时波动、设备的突发故障以及自然灾害等,这些因素都可能对电力系统的稳定运行构成严重威胁。其次,电力系统固有的薄弱环节,如输电线路的过载风险、发电机组的失稳可能等,在特定条件下可能引发电力系统的崩溃。此外,随着能源结构的转型,可再生能源的大规模接入也带来了电力系统稳定性的新挑战,其不稳定性 and 间歇性对电网的平衡调节提出了更高的要求。最后,电力系统调节控制能力的不足,特别是在新能源大规模接入的背景下,火电灵活性改造和抽水蓄能的电源灵活调节能力显得捉襟见肘,难以满足电网的稳定运行需求。

(二) 电力系统稳定性存在的问题

在电力系统稳定性方面,当前还存在一些亟待解决

的问题。首先，部分电力设备的控制策略相对滞后，未能适应现代电网的复杂性和多变性，需要进一步完善和提升。其次，电力系统的监测和预警系统尚未完善，难以及时、准确地发现和潜在的安全隐患，这对电力系统的稳定运行构成了潜在威胁。再者，电力系统的应急响应机制还不够健全，一旦发生事故，难以迅速、有效地进行处置，可能导致事故扩大化。此外，储能技术的挑战也是电力系统稳定性面临的重要问题之一，电池储能技术的成本、安全性和效率等方面仍需进一步改进。最后，智能电网的建设虽然为电力系统带来了诸多机遇，但其技术、安全和隐私等方面的挑战也不容忽视，需要采取有效措施确保智能电网的稳定性和安全性。

三、电力系统稳定性自动化控制策略

随着电力系统的不断发展和规模的扩大，其稳定性问题愈发显得重要。为了应对电力系统中的不确定性和随机性因素，提高系统的稳定性和抗扰动能力，自动化控制策略成为了关键的技术手段。下面将详细阐述几种主要的电力系统稳定性自动化控制策略。

（一）无功补偿和调压控制策略

在电力系统中，无功功率的平衡和电压的稳定对于系统的稳定运行至关重要。无功补偿和调压控制策略就是针对这两个关键因素而设计的稳定性控制手段^[9]。无功补偿控制策略的核心在于通过安装无功补偿装置来提供或吸收系统中的无功功率。这些装置，如电容器和静止无功补偿器（SVC—Static Var Compensator），能够实时监测系统中的无功功率变化。当系统中无功功率不足时，无功补偿装置会提供额外的无功功率，以确保系统的无功平衡。而当系统中无功功率过剩时，这些装置会吸收多余的无功功率，防止系统电压过高。通过这种方式，无功补偿控制策略能够显著提升系统的电压稳定性。调压控制策略则是通过调节系统中的电压来维持其稳定。电压的波动会对系统稳定性产生严重影响，因此，安装调压器和自动电压调节器（AVR—Automatic Voltage Regulator）等设备对系统中的电压进行实时监测和调节至关重要。这些设备能够迅速响应电压变化，通过调整变压器的分接头位置或改变发电机组的励磁电流等方式，使系统电压保持在预设的范围内，从而保证系统的稳定运行。无功补偿和调压控制策略通常相结合使用，以实现系统的无功平衡和电压稳定。这种综合控制策略能够显著提高系统的稳定性和抗扰动能力，确保电力系统的安全、可靠运行。

以某地区的电力系统为例，该地区在夏季高温时段

常常面临无功功率不足和电压波动的问题。为了应对这些挑战，该地区电力系统采用了无功补偿和调压控制策略。首先，通过安装静止无功补偿器（SVC），该系统能够实时监测并调整系统中的无功功率。当系统检测到无功功率不足时，SVC会迅速提供额外的无功功率，以维持系统的无功平衡。这种快速响应的能力确保了系统无功功率波动时能够保持稳定运行。同时，该地区电力系统还安装了自动电压调节器（AVR）和调压器。这些设备能够实时监测系统电压变化，并通过调整发电机组的励磁电流或变压器的分接头位置等方式，使系统电压保持在预设的范围内。这种调压控制策略确保了系统电压的稳定，有效避免了电压波动对系统稳定性的影响。通过实施无功补偿和调压控制策略，该地区电力系统成功应对了夏季高温时段的挑战。系统的稳定性和抗扰动能力得到了显著提升，确保了电力系统的安全、可靠运行。同时，这种综合控制策略也为其他地区电力系统提供了有益的借鉴和参考。

（二）调频控制策略

调频控制策略是电力系统稳定性控制中的一项关键技术，旨在通过调节发电机组的出力来维持系统频率的稳定^[4]。在电力系统中，频率的稳定性对于保障系统的正常运行和电能质量至关重要。因此，调频控制策略的设计和对于电力系统的稳定性具有重要影响。调频控制策略通常包括自动发电控制系统（AGC）和负荷频率控制（LFC—Load Frequency Control）两种形式。自动发电控制系统通过实时监测系统频率变化，并根据预设的频率控制策略调整发电机组的出力。当系统频率低于设定值时，AGC会增加发电机组的出力，以提供额外的功率支撑。当系统频率高于设定值时，AGC则会减少发电机组的出力，以维持系统频率的稳定。负荷频率控制则是另一种重要的调频控制策略，负荷频率通过调节系统中的负荷分布来影响系统频率。在负荷高峰时段，通过降低非重要负荷的供电量，可以减轻系统频率的下降压力。而在负荷低谷时段，通过增加负荷的供电量，则可以提高系统频率。负荷频率控制可以与自动发电控制系统相配合，共同实现系统频率的稳定控制。调频控制策略的优点在于能够实时响应系统中的频率变化，并快速调整发电机组的出力以维持系统频率的稳定。同时，该策略还可以根据系统的实际情况灵活调整控制参数和策略，以适应不同的运行条件和负荷需求。这对于提高电力系统的稳定性和可靠性具有重要意义。

以某地区电力系统为例，该系统在夏季高峰时段常

常面临频率波动的挑战。为了应对这一问题，该地区电力系统采用了调频控制策略。首先，通过安装自动发电控制系统（AGC），实时监测系统频率变化，并根据预设的频率控制策略调整发电机组的出力。当系统频率低于设定值时，AGC会自动增加发电机组的出力，以提供额外的功率支撑。当系统频率高于设定值时，则减少发电机组的出力。同时，该地区电力系统还采用了负荷频率控制策略。在夏季高峰时段，通过降低非重要负荷的供电量，如减少商场、写字楼的空调用电等，来减轻系统频率的下降压力。而在负荷低谷时段，如夜间或凌晨时段，则通过增加负荷的供电量，如开启部分路灯、充电桩等设备，来提高系统频率。通过实施调频控制策略，该地区电力系统成功地实现了系统频率的稳定控制。在夏季高峰时段，系统频率的波动范围得到了有效控制，保障了电力系统的稳定运行和电能质量。同时，该策略还提高了电力系统的灵活性和可靠性，为应对未来更多不确定因素提供了有力支持。

（三）FACTS控制策略

FACTS（Flexible AC Transmission Systems）控制策略是一种基于电力电子技术的灵活控制方法^[5]。FACTS控制策略通过在输电线路安装FACTS设备（如静止无功补偿器SVC、静止同步补偿器STATCOM—Static Synchronous Compensator等），来控制系统中的无功功率、电流和电压等参数，以提高系统的稳定性和抗扰动能力。FACTS设备可以实时监测系统电压、电流和无功功率等参数，并根据预设的控制策略对这些参数进行调节。例如，当系统中出现无功功率不足时，SVC和STATCOM等设备可以提供无功功率以维持系统的无功平衡。当系统中出现电压波动时，这些设备可以通过调节无功功率和电流来稳定电压。FACTS控制策略的优点在于能够实现对系统中多个参数的灵活控制，从而显著提高系统的稳定性和抗扰动能力。同时，该策略还可以通过优化控制参数和算法，进一步提高系统的运行效率和经济效益。然而，FACTS控制策略也面临一些挑战，如设备投资成本较高、控制策略设计复杂以及与其他控制策略的协调配合等问题。

（四）预测控制策略

预测控制策略是一种基于先进预测技术和算法的控制方法，该策略通过利用神经网络、模糊控制等智能算

法对电力系统未来的运行状态进行预测，并提前采取相应的控制措施以防止系统失稳^[6]。预测控制策略首先利用历史数据和其他相关信息对电力系统的运行状态进行建模和分析。然后，基于这些模型和分析结果，利用智能算法对系统未来的运行状态进行预测。一旦预测到系统可能出现失稳的情况，预测控制策略会立即采取相应的控制措施来避免系统失稳的发生。预测控制策略的优点在于能够提前预测系统中的潜在问题并采取相应的控制措施，从而有效地防止系统失稳的发生。同时，该策略还可以根据系统的实际情况灵活调整控制参数和策略以适应不同的运行条件和负荷需求。然而，预测控制策略也面临一些挑战，如预测算法的准确性和可靠性要求较高、数据处理和分析难度较大等问题。总之，电力系统稳定性自动化控制策略是提高电力系统稳定性和抗

结语

电力系统稳定性分析与自动化控制策略研究是保障电力系统安全、可靠运行的重要基础。通过对电力系统稳定性的深入分析和研究，可以了解系统的薄弱环节和潜在风险并采取相应的自动化控制策略来保障系统的稳定运行。未来随着技术的不断进步和创新相信电力系统稳定性分析与自动化控制策略将会得到更加深入的研究和应用。

参考文献

- [1] 牛祖蘅, 李宁. 电力系统综合自动化实验的教学研究[J]. 中国电力教育, 2013, (31): 135-136.
- [2] 黄映慧. 变电自动化系统安全控制和稳定性分析[J]. 硅谷, 2013, 6(21): 45+20.
- [3] 汪洋. 变电自动化系统安全控制和稳定性分析[J]. 科技创新与应用, 2012, (30): 130.
- [4] 陈璟华, 陈少华, 毛晓明, 等. 电力系统综合自动化实验台及其教学应用[J]. 中国电力教育, 2012, (01): 93-94.
- [5] 莫静. 变电自动化系统的设计及其稳定性分析[J]. 科技经济市场, 2006, (09): 34-35.
- [6] 贾宏杰, 陈建华, 余晓丹. 时滞环节对电力系统小扰动稳定性的影响[J]. 电力系统自动化, 2006, (05): 5-8+17.