

新能源电力系统中的电气控制技术与应用

张何子越

杭州华电半山发电有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 本文全面概述了新能源电力系统的基本构成、工作原理及其主要特点,包括新能源的种类、系统的随机性与波动性、间歇性以及分布式特性。文章深入探讨了新能源电力系统面临的挑战,如电能质量问题、稳定性问题和电网适应性问题。详细介绍了新能源电力系统中电气控制技术的关键要素,如最大功率点跟踪控制技术、自动发电控制技术、自动电压控制技术、分布式电源控制技术和储能系统控制技术。通过实际案例分析,文章展示了这些技术在新能源发电厂自动化应用、电网调度中心的智能调度算法以及用户侧的自动化交互与能源管理系统中的具体应用。

关键词: 新能源电力系统; 电气控制技术; 自动化应用

1 新能源电力系统概述

1.1 新能源的种类

(1) 新能源: 新能源是相对煤炭、石油、天然气等传统能源而言的, 又称非常规能源, 主要包括太阳能、风能、地热能、海洋能、生物质能以及核聚变能等多种形式。这些能源具有绿色低碳、资源丰富且可持续利用的特点, 是未来能源开发和利用的重点领域。(2) 太阳能: 利用太阳辐射的能量, 可以转换为电能或热能。太阳能发电主要包括光伏发电和光热发电两种形式。(3) 风能: 利用风力驱动风车叶片旋转, 通过增速机将旋转的速度提升, 来促使发电机发电。风能是一种清洁、可再生的能源, 具有广泛的分布和应用前景。(4) 地热能: 利用地球内部的热能进行发电或供暖。地热能具有稳定可靠、不受天气影响的特点。(5) 海洋能: 包括潮汐能、波浪能、海洋温差能等多种形式。这些能源主要来源于海洋的运动和温差, 具有巨大的开发潜力。(6) 生物质能: 利用有机物作为原料, 通过发酵、燃烧等方式产生热能或电能。生物质能具有来源广泛、可再生且环保的特点。(7) 核聚变能: 一种利用轻核聚变成重核并释放巨大能量的过程。虽然核聚变能目前仍处于研究阶段, 但其具有资源丰富、清洁无污染的巨大潜力。

1.2 新能源电力系统的工作原理

新能源电力系统是以高比例新能源供给消纳体系建设为主线任务, 通过源网荷储多向协同、灵活互动, 实现电力系统的高效、安全、清洁运行的系统。新能源电力系统以新能源为主导, 替代了传统的化石能源。各种新能源发电设备, 如太阳能光伏板、风力发电机等, 将自然界的能源转换为电能; 新能源电力系统呈现出能源互联网的形态, 打破了传统电网单向逐级输电的模式。电网具备更强的适应性和灵活性, 能够实时监测和调控

电力的传输与分配, 确保电网的安全稳定运行; 新能源电力系统的运行模式是“源网荷储”协同互动的非完全实时平衡模式。在这种模式下, 电源、电网、负荷和储能不再是孤立的个体, 而是相互协作、紧密联系的整体^[1]。通过智能化、数字化技术, 实现电力系统的动态平衡和高效运行。

2 新能源电力系统的特点

2.1 随机性与波动性

新能源电力系统中的随机性与波动性是其最为显著的特点之一, 这一特点主要源于新能源发电方式的本质属性。以太阳能和风能为例, 太阳能发电依赖于日照强度, 而风能发电则取决于风速大小。这些因素在时间和空间上都存在显著的不连续和变化特性。例如, 白天和黑夜、季节更替、云层遮挡以及风力波动等自然因素, 都会导致新能源发电功率的随机起伏。这种随机性和波动性使得新能源电力输出难以预测和控制, 给电网的调度和管理带来了极大的挑战。

2.2 间歇性

新能源电力系统的间歇性是指其发电能力在时间上呈现出间断性的特点, 这主要是由于新能源资源本身存在间断性的自然规律。例如, 太阳能发电在夜间无法进行, 而风能发电也会受到风力大小和方向的影响。这种间歇性使得新能源电力系统在满足持续、稳定的电力需求方面存在一定的困难。

2.3 分布式特性

新能源电力系统的分布式特性是指其发电设备和电力用户呈现出分散布局的特点, 与传统的集中式供能系统相比, 新能源电力系统更加注重能源的本地化生产和消费。这种分布式特性使得新能源电力系统在能源利用、环境保护和经济效益方面具有显著优势。首先, 分

布式新能源发电可以减少长距离输电带来的能源损失和环境污染；其次，分布式发电设备可以就近满足用户的电力需求，降低电网的负荷压力；最后，分布式新能源电力系统可以促进能源消费的多样化和个性化，满足用户的不同需求。

3 新能源电力系统面临的挑战

3.1 电能质量问题

新能源发电的随机性和波动性容易引发一系列电能质量问题。电压波动和闪变是常见的电能质量问题之一，当风力发电或光伏发电功率突然变化时，会导致电网电压出现波动和闪变，影响电力设备的正常运行。例如，在某光伏电站附近，当云层快速移动导致光伏电站输出功率急剧变化时，附近居民家中的灯光会出现明显的闪烁现象，一些对电压稳定性要求较高的电子设备也可能出现故障。新能源发电设备（如光伏逆变器、风力发电机的变流器等）中大量使用电力电子器件，这些器件在工作过程中会产生谐波电流，注入电网后会对电网中的其他设备造成干扰。谐波电流会使变压器、电缆等设备产生额外的损耗，加速设备老化，降低设备使用寿命；还可能引起继电保护装置误动作，影响电网的安全运行。

3.2 稳定性问题

大规模新能源接入电网后，改变了电力系统的原有结构和运行特性，增加了系统的不稳定因素。新能源发电的间歇性和波动性使得电力系统的功率平衡难以维持，容易引发频率波动和电压失稳等问题。当新能源发电功率突然下降，而负荷需求不变时，系统频率会降低；反之，当新能源发电功率突然增加，而负荷无法及时响应时，系统频率会升高。如果频率波动超出允许范围，将对电力系统中的发电机、电动机等设备造成损害，甚至可能引发系统崩溃；新能源发电设备与电网之间的相互作用复杂，可能导致系统振荡等稳定性问题。例如，在一些高比例风电接入的电网中，由于风力发电机的控制特性和电网参数不匹配，可能引发次同步振荡，威胁电网的安全稳定运行。

3.3 电网适应性问题

传统电网在规划、设计和运行方面主要是基于常规能源发电，对新能源发电的适应性不足。新能源电力系统的分布式特性和特殊运行要求，需要电网具备更强的灵活性、可控性和智能化水平，以实现对新发电的有效接纳和高效利用。然而，目前电网在网架结构、控制手段、通信能力等方面还存在一定差距。在网架结构方面，部分地区电网结构薄弱，无法满足新能源大规模

接入的需求。例如，一些新能源资源丰富的地区，由于输电线路容量不足，导致新能源电力无法及时送出，出现弃风、弃光现象^[2]。在控制手段方面，传统电网的控制策略主要针对常规发电机组，对新能源发电的快速响应和精确控制能力不足。在通信能力方面，新能源发电的分布式特性要求电网具备更强大的通信网络，以实现分散的新能源发电设备的实时监测和控制，但目前电网的通信系统在覆盖范围、传输速度和可靠性等方面还存在一定缺陷。

4 新能源电力系统中的电气控制技术

4.1 最大功率点跟踪控制技术

最大功率点跟踪（MPPT）控制技术是新能源电力系统的一项核心技术。它主要用于太阳能光伏发电系统，旨在实现光伏电池板在不同光照和温度条件下的最大功率输出。MPPT技术通过不断调节光伏电池的工作点，使其始终保持在最大功率点附近，从而最大化发电效率。常用的MPPT技术包括扰动观察法、增量电导法等。这些技术具有响应速度快、控制精度高等优点，能够显著提升光伏系统的发电性能和经济效益。

4.2 自动发电控制技术

自动发电控制技术（AGC）是新能源电力系统中的另一项关键技术，它主要用于调节发电机组的出力，以满足电网的实时负荷需求。AGC系统通过实时采集电力系统的运行数据，包括负荷曲线、发电曲线等，然后根据这些数据计算出所需的发电机组出力调整量，并通过控制系统自动调整发电机组的转速和功率输出。AGC技术的应用可以显著提高电网的频率稳定性和电压质量，减少电网的波动和损耗，提升电力系统的整体运行效率。

4.3 自动电压控制技术

自动电压控制技术（AVC）在新能源电力系统中同样发挥着重要作用，它主要用于调节电网中的无功功率分布，以实现电网电压的优化控制。AVC系统通过实时监测电网中各节点的电压和无功功率情况，然后根据预设的控制策略和算法计算出所需的无功补偿量，并通过控制系统自动调整无功补偿设备的投切和输出。AVC技术的应用可以显著改善电网的电压质量和无功功率平衡状态，降低电网的线损和电压波动，提升电力系统的稳定性和经济性。

4.4 分布式电源控制技术

分布式电源控制技术是新能源电力系统中不可或缺的一部分，随着分布式发电设备的广泛应用，如何高效、稳定地控制这些设备成为了一个重要问题。分布式电源控制技术通过实时监测和控制分布式发电设备的运

行状态,包括输出功率、电压和频率等,确保它们与电网的协调运行,分布式电源控制技术的应用有助于推动新能源电力系统的智能化和自动化发展^[3]。

4.5 储能系统控制技术

储能系统控制技术在新能源电力系统中同样具有重要地位,储能系统可以用于平衡新能源发电的间歇性和波动性,提高电力系统的稳定性和可靠性。储能系统控制技术通过实时监测和控制储能设备的充放电状态、功率输出等参数,确保储能设备与电网的协同运行,储能系统控制技术的应用有助于提升新能源电力系统的灵活性和适应性。

5 电气控制技术在新能源电力系统中的实际应用

5.1 新能源发电厂自动化应用实例分析

新能源发电厂的自动化应用是电气控制技术在新能源电力系统中的一个重要实践。以风力发电场和太阳能光伏电站为例,这些新能源发电设施通过集成先进的自动化控制系统,显著提高了发电效率和运营稳定性。在风力发电场中,自动化控制系统由风能检测传感器、变频器、监控系统、数据存储与处理平台及告警系统组成。风能检测传感器实时监测风速和风向,并将数据传输至监控系统。监控系统根据这些数据调整变频器的工作参数,以确保发电机在不同风速条件下实现最佳功率输出。同时,数据存储与处理平台记录并分析大量的监测数据,为风力发电场的运营和维护提供关键数据支持。告警系统则能在检测到异常情况时及时发出警报,通知操作人员采取措施,避免故障导致的停机时间和损失。太阳能光伏电站的自动化控制系统类似地集成了光照检测传感器、逆变器、监控系统等组件。光照检测传感器实时监测光照强度,监控系统根据这些数据调整逆变器的工作参数以优化发电效率,数据存储与处理平台同样用于记录和分析数据,为光伏电站的运营提供数据支持。这些自动化控制系统的应用,不仅提高了新能源发电厂的发电效率,还通过实时监控和数据分析降低运营风险,为新能源的可持续发展做出重要贡献。

5.2 电网调度中心的智能调度算法应用

随着人工智能技术的不断进步,智能调度算法已经能够在电网调度中发挥重要作用。智能调度算法通过机器学习和深度学习算法对电力负荷进行精准预测,有助于电网运营商更好地规划发电计划,有效应对负荷波动带来的挑战。同时,智能调度算法还能通过分析历史数

据和实时监测信息,快速识别出潜在的设备故障,并提前发出预警,避免大规模停电事故的发生。智能调度算法还能根据实时数据动态调整发电和输电计划,以应对不断变化的负荷需求和新能源发电波动。这些算法通过优化算法如强化学习、遗传算法等,为电力系统提供最优的调度方案,提高电力系统的运行效率和可靠性。在实际应用中,一些大型电网公司已经成功部署了基于智能调度算法的系统,实现对不同天气和季节条件下的最优调度策略,显著提高了电网的运行效率和可靠性^[4]。

5.3 用户侧的自动化交互与能源管理系统

用户侧的自动化交互与能源管理系统是电气控制技术在新能源电力系统中的又一重要应用领域。例如,用户侧管理系统集成平台可以为企业提供配用电监测与管理、有序用电管理、需求响应辅助决策等核心应用场景的自动化解决方案。通过这些解决方案,企业可以实时获知本企业的用电信息、异常告警信息,并制定科学的用电策略,降低用电成本,提高能源利用效率。智能照明监控系统、智慧开水炉系统、智能充电桩监控系统等用户侧自动化交互系统也在实际应用中取得了显著成效。这些系统通过智能化控制和数据分析,提高了用户侧能源管理的效率和便利性,为新能源电力系统的可持续发展提供了有力支持。

结束语

综上所述,电气控制技术在新能源电力系统中发挥着至关重要的作用。通过不断优化和创新这些技术,可以更好地应对新能源发电的随机性和波动性,提高电力系统的稳定性和可靠性。未来,随着新能源技术的不断发展和智能电网建设的深入推进,电气控制技术将在新能源电力系统中发挥更加重要的作用,为构建清洁、低碳、高效的能源体系提供有力支撑。

参考文献

- [1]薛思洋.新能源电力系统控制技术的优化策略[J].集成电路应用,2021,38(12):192-193.
- [2]熊朝晖.论新能源电力系统优化控制方法及关键技术[J].模型世界,2022,32(21):31-33.
- [3]王永科.新能源电力系统优化控制方法及关键技术探究[J].中国设备工程,2021(06):125-126.
- [4]于宝胜,李潇潇,田巍.新能源电力系统优化控制技术与方法研究[J].科技创新导报,2022,19(10):57-59.