

The Influence of New Energy Access on Substation Operation Stability and Its Countermeasures

Fujin Zhuge Qingcai Li Shuo Xu

State Grid Shandong Electric Power Company Shenxian Power Supply Company, Liaocheng, Shandong, 252400, China

Abstract

With the acceleration of the global energy transformation, the proportion of new energy sources such as wind energy and solar energy in the power system is gradually increasing. The access of new energy brings new challenges to the operation stability of the substation. This paper discusses the influence of new energy access on the operation stability of substation, and analyzes the main technical challenges brought by it, including power fluctuation, frequency regulation and reactive power regulation difficulties. Combined with the actual cases at home and abroad, the technical strategies to deal with the volatility and intermittently of new energy are put forward. These measures help to improve the adaptability and stability of the power system, and provide technical support and experience reference for the extensive access of new energy.

Keywords

new energy; substation; operation stability; countermeasures

新能源接入对变电站运行稳定性的影响及其应对措施

诸葛福金 李庆才 许硕

国网山东省电力公司莘县供电公司, 中国 · 山东 聊城 252400

摘要

随着全球能源转型的加速推进, 新能源, 如风能、太阳能等在电力系统中的比重逐渐增加。新能源的接入对变电站的运行稳定性带来了新的挑战。论文探讨了新能源接入对变电站运行稳定性的影响, 分析了其带来的主要技术挑战, 包括功率波动、频率调节及无功功率调节困难等问题。结合国内外实际案例, 提出了应对新能源波动性和间歇性的技术策略, 这些措施有助于提高电力系统的适应性和稳定性, 为新能源的广泛接入提供了技术支持和经验借鉴。

关键词

新能源; 变电站; 运行稳定性; 应对措施

1 引言

随着全球能源结构的转型, 新能源的发展成为应对气候变化、减少温室气体排放和推动可持续发展战略的关键一环。近年来, 风能、太阳能等可再生能源的发电量持续攀升, 全球范围内的新能源接入规模显著增加。根据国际能源署 (IEA) 数据, 新能源在全球电力供应中的比重逐年提高, 并且在未来几十年预计将继续保持快速增长趋势。本研究的主要目的是深入分析新能源接入对变电站运行稳定性带来的主要问题, 并提出相应的应对措施, 希望论文的研究成果能够为未来电网建设和新能源接入提供参考, 助力新能源的广泛应用和电力系统的安全高效运行。

2 新能源接入对变电站运行稳定性的影响分析

2.1 新能源的种类及其特性

在全球范围内推进能源转型的背景下, 新能源正逐步成为电力系统的关键组成部分。常见的新能源类型包括风能、太阳能、光伏和潮汐能等。这些新能源的主要特征可以概括为波动性、间歇性和可再生性, 它们在实际应用中带来了显著的挑战。以风能为例, 其发电能力高度依赖于气象条件, 尤其是风速和风向的变化, 因此具有较大的波动性。当风速不稳定时, 发电功率会出现明显的波动, 极端情况下甚至可能完全停止发电。这种波动性在电力系统中可能会引发功率平衡的问题^[1]。太阳能发电同样依赖于日照的强度和持续时间, 导致晴天与阴天之间的发电量差异显著, 特别是在多云天气或季节性日照变化较大的地区。日照不足时, 太阳能发电系统的输出功率会大幅下降, 甚至完全停止。光伏发电亦是如此。光伏板将光能转换为电能, 但其发电效率受到光照角度、天气条件和温度的显著影响。在日照条件不佳的

【作者简介】诸葛福金 (1992-), 男, 中国山东聊城人, 本科, 工程师, 从事电力与变电研究。

情况下,光伏发电会表现出较大的间歇性和波动性,潮汐能的发电能力依赖于潮汐的周期性变化。尽管潮汐能相对具有较为规律的周期性,但其发电功率仍然受到月亮引力、海洋天气等外部因素的影响。在特殊气象条件下,发电效率同样会受到影响。这些新能源的波动性和间歇性给电力系统的运行稳定性带来了挑战,尤其是在负荷需求稳定的情况下,电网可能难以应对新能源输出的不确定性。这使得电力系统的实时调节难度增加,对电网技术要求提出了更高的挑战。

2.2 新能源接入变电站的主要技术问题

随着新能源逐渐并入变电站,传统电力系统正面临日益严峻的稳定性挑战,主要表现在功率波动、无功功率调节以及频率调节等关键技术问题上。新能源发电的输出具有显著的不确定性,尤其是风能和光伏发电,它们受气象条件的影响较大,导致输出功率频繁出现大幅度波动^[1]。这种功率波动直接影响到电力系统的电压稳定性,特别是在大规模并入新能源的情况下,电压波动问题更加严重,可能引发电压不平衡和电压崩溃的风险。而无功功率调节问题是电力系统稳定运行的另一重大挑战,无功功率的平衡对于维持系统电压水平至关重要。然而,新能源发电机组通常缺乏有效的无功调节能力。传统发电机组能够通过调整励磁系统来进行无功功率调节,而风能和光伏发电机组多采用电力电子变换器接口,其无功调节能力有限,这使得在新能源并入后,电力系统的无功功率调节变得更加困难,影响电网的电压调节能力和运行稳定性。此外传统的火力和水力发电机组通过旋转质量提供系统惯性,能够在电力系统发生负荷变化时自动调节频率。但风能和光伏发电多为无惯性发电,其缺乏旋转质量的特性使得系统惯性显著降低,导致在负荷波动较大时频率调节能力下降,电力系统频率稳定性受损。这种惯性缺失进一步增加了电网对调节能力的需求,提升了电网的适应性要求。因此,随着新能源的广泛并入,如何有效提升系统的频率响应能力,增强电力系统的惯性补偿,已成为迫切需要解决的问题。

2.3 新能源接入对变电站运行稳定性的实际案例分析

通过对国内外变电站接入新能源后的实际运行案例进行深入分析,我们可以更加详细地了解新能源接入对变电站运行稳定性所产生的具体影响^[1]。如在某沿海地区的风电场接入案例中,由于风速的波动性较大,风电场的输出功率表现出显著的不稳定性,这导致变电站内部的电压频繁波动,并多次触发了电压保护装置。通过对运行数据的详细分析,我们发现,在风电接入后,系统的功率曲线波动性明显增加,电力系统频率调节的负担也随之加重,这进一步给变电站的稳定运行带来了较大的压力。这种波动性不仅影响了变电站的电压稳定性,也增加了对系统无功功率和频率调节的要求,使得电网在应对风电场大规模并网时变得更加复杂和困难。然而实际案例也表明,通过采取合理的技术手段,可以在一定程度上缓解新能源接入所带来的不利影响。在风电场

和变电站中引入储能装置,可以在功率波动较大时存储多余的电能,并在功率不足时释放电能,从而平滑系统的功率输出曲线。此外,优化无功功率补偿设备的配置,例如引入动态无功补偿装置(SVC)和静止同步补偿器(STATCOM),可以有效提高系统的电压调节能力,增强变电站对电压波动的适应性。进一步的研究表明,改进智能调度算法,结合实时监测和预测技术,可以优化新能源的调度和控制策略,减少频繁的功率波动对电网的冲击。

3 新能源接入对变电站运行的挑战

随着新能源的广泛接入,变电站的运行面临诸多新的技术挑战,尤其在电力系统保护、调度控制以及电力传输与储能方面。第一,传统电力系统的保护装置设计基于稳定的常规发电模式,其对新能源发电的间歇性和波动性缺乏足够的适应性,导致继电保护装置在频繁的电流和电压波动下容易出现误判和误动作。这种误动作不仅会引发不必要的设备停运,增加维护成本,还可能导致系统的不稳定性,甚至引发连锁反应,带来大范围的电力中断风险。在新能源比例较高的地区,保护系统的适应性问题尤为突出,对变电站的安全运行构成了重大威胁。第二,随着新能源接入,变电站的调度和控制系统面临显著调整需求。传统的电力调度系统依赖于可预测性较强的常规发电,能够较好地平衡负荷需求与发电输出。然而新能源发电的不确定性和间歇性,尤其是风能和太阳能受天气影响较大,显著增加了电力调度的复杂性。变电站调度系统需要具备更强的实时响应和调节能力,传统的调度模式和控制策略在面对频率波动和负荷跟踪时显得捉襟见肘。因此,系统亟须升级以适应新能源的波动特性,确保电网运行的平稳与高效。此外,新能源的远距离传输也带来了新的挑战。由于风能和太阳能资源大多分布在偏远地区,长距离的电力传输不仅增加了能量损失,还加剧了电网的负荷压力,进一步影响系统的稳定性。在此背景下,储能技术成为维持电力系统稳定性的关键。储能系统可以通过平滑新能源的功率波动,在发电过剩时存储电能并在负荷高峰期释放,帮助电网平衡供需。工程师通过研究如何将储能系统与变电站电网进行更好的有效融合,并形成高效的调控机制,仍是技术发展的重要方向,这些技术挑战的解决对新能源的可持续接入和电网的长期稳定性具有决定性意义。

4 应对措施与技术策略

为了应对新能源接入带来的挑战,确保变电站运行的稳定性和可靠性,需要采取一系列的技术措施和策略。新能源发电与传统发电的优化协调是重要手段之一,通过提高传统发电与新能源发电的协同性,可以有效减少新能源发电波动对电网的影响。传统发电机组可以作为稳定的基础负荷,补偿新能源波动带来的功率缺口,从而提高整体系统的稳定性,新型储能技术的应用对于缓解新能源发电的波动性具有重要作用。通过引入电化学储能、机械储能等新型储能技

术,能够在新能源波动时平滑功率输出,增强变电站的瞬时调节能力。此外,储能装置的快速响应特性也能够提高系统的动态稳定性,缓解电压和频率波动带来的冲击。智能电网技术的应用进一步增强了电力系统的监测与调度能力。通过智能化设备和控制系统的部署,可以实现对变电站和新能源发电的精细化管理,增强运行过程中的实时监控和动态调整能力。智能电网技术不仅可以优化新能源接入的调度策略,还能够提升系统的整体运行效率。在此基础上,先进电力电子技术的应用也成为应对系统稳定性挑战的关键之一。柔性直流输电(HVDC)技术具有优异的调节和传输能力,可以在不同地区间实现大规模新能源电力的高效传输,有效支撑电网的运行稳定性。此外静止无功补偿器(SVC)和静止同步补偿器(STATCOM)等新型电力电子装置,能够显著提高系统的无功功率调节能力,进一步优化电网的电压调控水平。还可以通过建立电网、变电站与分布式新能源发电的多级联动机制,实现多层次的系统运行控制,优化各级电力系统的协同调度。同时跨区域的协调机制可以有效平衡不同地区间的新能源供应波动,提升区域电力系统的稳定性和可靠性。通过这些技术和策略的综合应用,可以有效提高变电站和电力系统在新能源接入下的运行稳定性。

5 案例研究与实践经验

在全球范围内,新能源大规模接入变电站的实践已经积累了丰富的经验,国内外均有多个典型案例展示了应对新能源带来的挑战和问题的高效解决方案。通过对这些案例的深入分析,我们可以清晰地看到各国在不同情境下采取了针对性的应对措施,在欧洲、德国等国家,通过大规模发展风能和太阳能,构建了高效的智能电网系统,并结合储能技术,实现了较为稳定的新能源接入。在德国的案例中,智能电网技术的应用显著提高了电力调度的灵活性,储能设施有效平

抑了可再生能源的波动性,从而保障了电网的整体稳定性。在中国,通过光伏发电、风能等新能源接入变电站的案例表明,提升电网运行智能化水平和引入先进的电力电子技术(如SVC、STATCOM)有效缓解了电网频率和电压波动带来的运行不稳定问题。此外,国内部分变电站通过升级继电保护装置和优化调度控制系统,成功应对了新能源发电的不确定性。根据数据可以发现,灵活的调度机制、储能技术的应用以及智能化设备的部署成为保障变电站稳定运行的关键因素。在这些成功案例中可以看到,无论是欧洲还是中国,各国都在积极探索和实践新能源接入变电站的最佳路径。通过深入分析这些案例,我们可以看到各国在不同情境下采取的针对性应对措施,以及他们在技术创新、政策支持和市场机制方面的努力。这些经验和技术的积累,为未来新能源的大规模接入提供了宝贵的参考和借鉴。

6 结论与展望

随着全球新能源的快速发展,电力系统面临着前所未有的挑战。新能源的间歇性和波动性直接影响变电站的运行稳定性,传统的电力系统保护和调度机制难以适应这种变化。未来随着储能技术的进一步发展、智能电网的普及以及电力电子技术的成熟,新能源接入的稳定性问题将得到更有效地解决。未来的研究应进一步聚焦于提高储能效率、完善智能调控技术和加强跨区域电网的协同调度,以更好地应对新能源大规模接入所带来的系统性挑战。

参考文献

- [1] 朱帕尔·努尔兰,马倩,蒋诗百.变电运维智能化远程管理系统的应用策略探究[J].电子测试,2020(14):2.
- [2] 张兵,杨广辉,杜嘉寅.国网济南供电公司变电运维二班:智慧后台打造班组智能运维指挥中心[J].班组天地,2020(5):2.
- [3] 蒲天骄,乔骧,韩笑,等.人工智能技术在电力设备运维检修中的研究及应用[J].高电压技术,2020(2):15.