

新能源发电系统的电气自动化控制策略研究

丁兆东

天津航海仪器研究所

DOI:10.12238/etd.v6i10.17187

[摘要] 新能源发电系统涵盖多种类型,普遍存在输出功率不稳定等特性,电气自动化控制需求围绕稳定、高效、安全与兼容展开。关键技术包括光伏、风力发电及储能系统的控制技术。优化路径有基于智能算法的控制策略优化、多能源协同控制策略和适应电网需求的控制策略。这些策略与技术可提升新能源发电系统性能,增强其与电网友好互动能力,保障系统稳定高效运行,推动新能源发电领域发展。

[关键词] 新能源发电; 电气自动化; 控制策略

中图分类号: TM76 文献标识码: A

Research on Electrical Automation Control Strategies for New Energy Power Generation Systems

Zhaodong Ding

Tianjin Navigation Instrument Research Institute

[Abstract] New energy power generation systems encompass various types and generally exhibit characteristics such as unstable output power. The demand for electrical automation control revolves around stability, efficiency, safety, and compatibility. Key technologies include control techniques for photovoltaic power generation, wind power generation, and energy storage systems. Optimization approaches involve control strategy improvements based on intelligent algorithms, multi-energy协同control strategies, and control strategies adapted to grid requirements. These strategies and technologies can enhance the performance of new energy power generation systems, improve their ability to interact friendly with the grid, ensure stable and efficient system operation, and promote the development of the new energy power generation field.

[Key words] New Energy Power Generation; Electrical Automation; Control Strategies

引言

在全球能源转型背景下,新能源发电凭借清洁、可再生等优势,成为能源领域发展重点。然而,新能源发电系统受环境因素影响大,输出功率不稳定,给并网运行和稳定供电带来挑战。电气自动化控制作为保障新能源发电系统高效、稳定运行的关键手段,其策略研究至关重要。本文深入剖析新能源发电系统特性与控制需求,探讨电气自动化关键技术,并提出优化路径,为行业发展提供参考。

1 新能源发电系统的特性与控制需求

1.1 新能源发电系统的分类与特性

新能源发电系统主要涵盖光伏发电、风力发电、生物质能发电、地热能发电等类型,其中光伏发电与风力发电应用最为广泛。光伏发电系统依靠光伏组件将太阳能转化为电能,其输出功率受光照强度、温度等气象因素直接影响,具有明显的间歇性和波动性,且光伏组件存在非线性输出特性,需通过最大功率点跟踪实现高效发电。风力发电系统通过风力机捕获风能转化为机

械能,再驱动发电机发电,其输出受风速变化影响显著,风速低于切入风速或高于切出风速时均无法发电,且风能的随机性导致输出功率波动幅度较大^[1]。生物质能发电依赖生物质燃料燃烧供能,输出相对稳定但受燃料供应影响,地热能发电则依托地热资源稳定性强,但受地域分布限制明显。整体而言,新能源发电系统普遍存在输出功率不稳定、能量转化效率受环境影响大、接口特性复杂等共性特性。

1.2 电气自动化控制的核心需求

新能源发电系统电气自动化控制的核心需求围绕稳定性、高效性、安全性和兼容性展开。稳定性需求体现在维持发电系统输出功率和电压、频率的稳定,通过实时调节控制参数抵消环境因素导致的功率波动,避免输出参数剧烈变化影响系统运行。高效性需求要求控制技术能实时追踪新能源最大能量转化点,如光伏发电的最大功率点、风力发电的最佳风能捕获点,同时降低控制过程中的能量损耗,提升整体发电效率。安全性需求涵盖设备安全和系统安全,需对过电压、过电流、设备过载等异常情况

进行快速监测和保护，防止设备损坏或引发连锁故障。兼容性需求针对新能源发电系统并网运行场景，要求控制技术使发电系统输出特性匹配电网要求，实现平滑并网、友好互动，同时具备应对电网扰动的能力，保障并网后电网的安全稳定运行。

2 电气自动化控制的关键技术

2.1 光伏发电系统的控制技术

光伏发电系统的控制技术核心围绕最大功率点跟踪、并网控制和电能质量调节展开。最大功率点跟踪技术通过实时检测光伏阵列输出电压和电流，采用扰动观察法、增量电导法等算法动态调节DC/DC变换器占空比，使光伏阵列始终工作在最大功率输出状态，有效提升不同光照和温度条件下的发电效率。并网控制技术通过DC/AC逆变器实现直流电能向交流电能的转换，采用电压外环、电流内环的双闭环控制策略，精准调节输出电压的幅值、频率和相位，确保与电网参数一致，实现平滑并网。针对光伏发电输出波动导致的电能质量问题，通过无功补偿控制和滤波技术，抑制谐波污染，补偿无功功率，维持并网点电压稳定。另外，光伏系统还配备完善的保护控制技术，当检测到过电压、过电流、孤岛效应等异常情况时，快速切断并网回路，同时触发光伏阵列失压保护，保障设备和电网安全。

2.2 风力发电系统的控制技术

2.2.1 变桨距控制

变桨距控制堪称风力发电系统应对复杂风速变化、保障稳定高效运行的核心关键技术，主要应用于定桨距风力机以及变速恒频风力机的高风速工况。此技术借助变桨距执行机构，精准调节风力机叶片与气流之间的夹角，也就是桨距角，进而实现对风能捕获量的细致把控。当风速低于额定风速时，系统会将桨距角调节至最佳角度，此时叶片能最大程度地捕捉风能，显著提升发电效率，让每一丝风力都转化为更多的电能。而当风速高于额定风速时，系统会逐渐增大桨距角，减小叶片的迎风面积，从而降低风能捕获量。这一过程有效避免了风力机转速超过额定值，确保输出功率稳定在额定水平，保障设备安全运行^[2]。变桨距控制通常采用PID控制或模糊控制算法，它能实时接收风速传感器和转速传感器传来的信号，通过闭环控制机制，快速响应风速变化，将桨距角精准调节至目标值。同时，该技术还具备强大的故障保护功能。一旦检测到紧急故障，它能迅速将桨距角调节至90度顺桨位置，使风力机快速停机，最大程度保障设备安全，减少故障带来的损失。

2.2.2 变速控制

变速控制作为变速恒频风力发电系统的核心控制技术，在提升发电效率方面发挥着至关重要的作用。它通过巧妙调节风力机转速，使风能利用系数始终维持在最优值，从而提升不同风速下的发电效率。该技术依托由风力机、发电机和电力电子变换器共同组成的控制系统，采用转速外环、功率内环的双闭环控制策略，实现转速与输出功率的协同调节。当风速发生变化时，转速传感器会实时采集风力机转速信号，并与预先设定的最优转速曲线进行对比。之后，通过控制发电机侧变换器调节励磁电

流或有功功率，使风力机转速紧密跟踪最优转速，确保风能利用系数始终保持最大。在转速调节过程中，网侧变换器会维持直流母线电压稳定，同时实现有功功率和无功功率的独立调节，有力保障输出电能质量。此外，变速控制通常还会结合智能控制算法，如自适应控制、滑模控制等，进一步提升系统对风速随机变化的适应能力，减少转速波动，使系统在宽风速范围内实现稳定运行，为风力发电的高效、稳定提供坚实保障。

2.2.3 低电压穿越(LVRT)技术

低电压穿越技术是保障风力发电系统在并网运行时，面对电网故障仍能不脱网的关键“护盾”。其核心要求在于，当电网电压跌落至规定范围时，风力发电系统要能够维持并网运行一段时间，并按照要求发出无功功率，支撑电网电压恢复。该技术通过电压检测模块实时监测并网点电压，一旦检测到电压跌落，会迅速触发低电压穿越控制策略。一方面，发电机侧变换器采用撬棒保护电路消耗转子侧过剩能量，有效防止转子过电压对设备造成损坏。另一方面，网侧变换器会调节无功功率输出，按照电网要求向故障点注入无功电流，助力电网电压快速恢复。控制系统会合理限制有功功率输出，避免因功率不平衡导致系统不稳定。低电压穿越技术还需配合crowbar电路、储能单元等硬件设备，通过软硬件协同控制，确保系统在电压跌落期间保持并网状态。待电压恢复后，能快速恢复正常发电状态，大幅提升电网故障下的供电可靠性，为风力发电系统稳定运行保驾护航。

2.3 储能系统的控制技术

储能系统作为新能源发电体系中的关键环节，其控制技术核心紧密围绕充放电控制、能量管理以及协同控制三大板块有序展开，核心目标在于达成储能单元与新能源发电系统的高效精准匹配，进而全方位提升整体系统的稳定性。在充放电控制技术方面，依据储能单元类型的差异，采用极具针对性的策略。以锂电池储能为例，运用恒流-恒压充电控制与恒流放电控制，借助DC/DC变换器对充放电电流和电压进行精细调节，有效规避过充、过放以及过温等不良状况，从而显著延长储能单元的使用寿命。而对于飞轮储能，则通过电机控制实现动能与电能之间的高效转换，能够精准调节充放电功率，确保储能过程的高效与稳定。能量管理控制技术通过实时采集新能源发电功率、负荷需求以及电网状态等关键数据，运用先进的优化算法精心制定充放电策略^[3]。在发电功率过剩时及时充电储能，在功率不足时迅速放电补能，有效平抑输出波动。协同控制技术则致力于实现储能系统与光伏、风电系统的深度联动，借助统一控制平台协调各单元有序运行。当新能源发电功率出现波动时，储能系统能够快速响应并给予补偿，同时在并网场景下，积极配合新能源系统调节无功功率，大幅提升并网兼容性与电网支撑能力。

3 电气自动化控制策略的优化路径

3.1 基于智能算法的控制策略优化

基于智能算法的控制策略优化，是当前新能源控制领域的前沿方向。它借助人工智能、机器学习等先进算法，有效解决传统控制策略在复杂工况下适应性差的问题，显著提升控制精度

与系统性能。传统PID控制依赖固定参数,面对新能源发电系统非线性和时变特性时,常显得力不从心。而智能算法能实现控制参数的动态优化。以模糊控制算法为例,它模拟人类决策逻辑,将专家经验转化为模糊规则。在光伏、风电系统控制中,无需建立精确数学模型,就能精准调节,有效抑制功率波动。神经网络算法则通过大量训练样本学习系统运行特性,实现最大功率点跟踪的自适应调节。在不同光照、风速等环境条件下,都能保持高跟踪精度。粒子群优化算法、遗传算法等进化算法,可用于优化控制参数。比如优化PID控制器参数,让控制更精准;制定储能系统最优充放电策略,提高能源利用效率。深度学习算法更是能处理海量运行数据,实现故障预测与健康管理。提前识别控制系统潜在故障,为维修和调整提供依据,提升系统运行可靠性,为控制策略优化提供坚实的数据支撑。

3.2 多能源协同控制策略

多能源协同控制策略旨在整合光伏、风电、储能及传统能源等多种能源单元,构建统一控制平台,实现各单元协同运行,提升整体系统稳定性和经济性。该策略以能量平衡和效益最大化为目标,借助能量管理系统实时采集各能源单元的发电功率、储能状态、负荷需求等数据,运用协调优化算法制定科学合理的运行方案。在发电侧,当光伏出力因光照减弱而下降时,控制策略迅速响应,调度风力发电系统提升出力,同时触发储能系统放电补能,确保总发电功率满足负荷需求。若光伏和风电出力过剩,则控制储能系统充电,避免能源浪费。在并网场景下,协同控制策略可精准调节各能源单元的有功和无功输出,使整体输出特性与电网要求完美匹配,有效降低对电网的冲击。另外,该策略还具备强大的负荷侧互动能力。通过引导柔性负荷错峰运行,进一步优化能源供需平衡。

3.3 适应电网需求的控制策略

适应电网需求的控制策略以新能源发电系统与电网的友好互动为核心,通过优化控制逻辑,确保发电系统满足电网对并网电源的各项严格技术要求。随着新能源并网比例不断提升,电网

对发电系统的调峰能力、调压能力和故障穿越能力提出了更高标准。在调峰控制方面,通过制定基于电网负荷曲线的发电计划,并结合储能系统充放电控制,新能源发电系统能够根据电网调峰需求灵活调节出力。在电网负荷高峰时,提升出力以满足用电需求;在低谷时,降低出力或进行储能,有效缓解电网调峰压力^[4]。调压控制方面,采用无功功率分层控制策略,发电机侧变换器和并网逆变器协同调节无功输出,精准维持并网点电压在允许范围内,应对电网电压波动。故障穿越方面,除完善低电压穿越控制外,进一步提升高电压穿越能力。当电网发生电压骤升时,通过快速调节有功功率输出和储能吸收过剩能量,确保系统不脱网。同时,控制策略具备强大的电网频率响应能力。当电网频率波动时,能迅速调节发电功率,辅助电网频率恢复稳定,全方位提升电网的稳定性和可靠性。

4 结束语

新能源发电系统的电气自动化控制策略研究,对于推动能源转型、实现可持续发展意义重大。通过深入研究关键控制技术,并不断优化控制策略,可有效提升新能源发电系统的稳定性、高效性和兼容性,增强其与电网的友好互动能力。未来,随着技术的持续创新,电气自动化控制将在新能源发电领域发挥更大作用,助力构建更加清洁、高效、稳定的能源体系,为人类社会的长远发展提供坚实能源保障。

参考文献

- [1]王建鹏.新能源发电系统的电气自动化控制策略研究[J].电气技术与经济,2025(3):342-344,351.
- [2]王佳镔.电气自动化在新能源发电中的技术研究[J].百科论坛电子杂志,2025(19):106-108.
- [3]董海鹰,张宏,陈钊,等.光热-光伏联合发电系统无功分层协调优化控制策略研究[J].太阳能学报,2021,42(6):162-169.
- [4]柯德平,冯帅帅,刘福锁,等.新能源发电调控参与的送端电网直流闭锁紧急频率控制策略快速优化[J].电工技术学报,2022,37(5):1204-1218.