

光伏发电并网电压稳定性及调压策略研究

康禹¹ 于洪强¹ 高胜³ 庞伟¹ 马建军²

1. 抚顺矿业集团有限责任公司供电部 辽宁抚顺 113008

2. 中水东北勘测设计研究有限责任公司 吉林长春 130021

3. 辽宁日拓新能科技发展有限公司 辽宁抚顺 113008

摘要: 光伏发电作为一种重要的可再生能源发电方式,其并网电压稳定性及调压策略对于确保电网安全、稳定运行具有重要意义。本文首先分析了光伏发电并网电压稳定性的影响因素,然后探讨了静态电压稳定性分析工具、动态电压稳定性分析和仿真分析等分析方法,最后提出了多种调压策略,包括有功电流电压调整策略、无功电流电压调整策略、有功和无功功率联合调整策略,以及先进控制技术的应用,通过本文的研究,可以为光伏发电并网电压稳定性及调压策略的制定提供理论参考和实践指导。

关键词: 光伏发电; 并网电压稳定性; 调压策略

引言

随着全球能源危机的加剧和环境污染问题的日益严重,可再生能源的开发和利用已成为世界各国关注的焦点。光伏发电作为一种清洁、可再生的能源形式,具有广阔的发展前景。然而,光伏发电系统并网后,由于其输出功率受环境因素影响较大,容易引发电网电压波动和稳定性问题。因此,研究光伏发电并网电压稳定性及调压策略对于确保电网安全、稳定运行具有重要意义。

一、光伏发电并网电压稳定性影响因素

(一) 光伏发电系统的容量

光伏发电系统的容量是影响电网电压稳定性的首要因素,其重要性体现在系统整体的供电能力和电网适应性两个方面。从供电能力来看,大容量光伏发电系统在正常工作条件下能够为电网提供较大的功率支撑,但同时也会因为其较大的功率波动给电网带来更大的冲击。当光照条件发生剧烈变化时,大容量光伏系统的输出功率波动幅度往往较大,这种波动会直接传递到电网中,引起局部甚至大范围的电压波动。从电网适应性角度来看,大容量光伏发电系统的并网运行对电网的调节能力提出了更高要求,电网需要具备足够的调压能力来应对

光伏发电系统的功率波动。因此,在光伏发电系统的规划设计阶段,必须充分考虑系统容量与电网承载能力之间的匹配关系,通过合理的容量配置和必要的调压措施来确保系统并网后的电压稳定性。

(二) 并网位置与方式

光伏发电系统的并网位置与方式对电网电压稳定性具有深远影响,这种影响主要体现在电能传输效率和电压分布特性两个层面。从电能传输效率的角度来看,光伏发电系统并网点距离负荷中心的远近直接决定了电能传输过程中的损耗大小。当并网点位置选择合理时,不仅可以减少线路损耗,还能够提高电能质量,降低电压波动的传播范围。从电压分布特性来看,不同的并网方式会形成不同的电压分布模式。分散式并网方式能够使光伏发电系统的输出功率分散到多个并网点,有利于减少局部电压波动的影响;而集中式并网方式虽然便于统一管理和控制,但可能会在并网点附近造成较大的电压波动。因此,在确定光伏发电系统的并网位置和方式时,需要综合考虑电网结构特点、负荷分布情况以及电压控制能力等多个因素,通过科学的规划设计来实现最优的并网方案。特别是在电网结构复杂的区域,更需要通过详细的仿真分析来评估不同并网方案对电压稳定性的影响。

(三) 光照强度与环境温度

光照强度与环境温度作为光伏发电系统的关键外部影响因素,其变化规律与系统输出特性之间存在着复杂的关联关系。光照强度的变化直接影响光伏电池的光电转换效率,进而影响系统的输出功率。当光照强度增大

作者简介: 康禹(1983年4月26日-),性别:男,民族:汉族,籍贯:辽宁抚顺,单位:辽宁抚矿供电有限责任公司,职称:中级工程师,学历:本科,研究方向:输变电运维及管理。

时, 光伏电池产生的光生电流随之增加, 系统输出功率相应提高; 而在光照强度减弱的情况下, 系统输出功率则会相应降低。环境温度对光伏发电系统的影响主要表现在对光伏电池转换效率的影响上, 随着温度升高, 光伏电池的开路电压会降低, 从而导致系统效率下降, 这种温度效应在夏季尤为明显, 可能会导致系统实际输出功率显著低于额定值。此外, 光照强度和环境温度的瞬时变化, 如云层遮挡或者突发性降雨等气象条件变化, 都可能导致系统输出功率的快速波动, 这种波动会通过并网点传递到电网中, 对电网电压稳定性造成不利影响。因此, 在光伏发电系统的设计和运行过程中, 必须充分考虑当地的气象特征, 采取相应的技术措施来减少环境因素变化对系统输出的影响。

二、光伏发电并网电压稳定性分析方法

(一) 静态电压稳定分析工具

静态电压稳定分析工具在光伏发电系统并网运行的研究中具有重要地位, 其核心功能是评估系统在稳态运行条件下的电压稳定性。灵敏度分析方法通过计算系统状态变量对控制变量的灵敏度系数, 来评估系统参数变化对电压稳定性的影响程度, 这种方法能够帮助运行人员识别系统中的薄弱环节, 并为制定预防措施提供依据。功率-电压曲线分析法则是通过绘制系统在不同运行工况下的功率-电压特性曲线, 来研究系统的电压稳定裕度。该方法可以直观地反映系统在不同功率水平下的电压变化趋势, 有助于确定系统的稳定运行边界。此外, 静态电压稳定分析工具还包括模态分析法、最小奇异值等多种分析方法, 这些方法各有特点, 能够从不同角度对系统的静态电压稳定性进行评估。在实际应用中, 通常需要综合运用多种分析方法, 以获得更全面和准确的评估结果。

(二) 动态电压稳定性分析

动态电压稳定性分析着重研究光伏发电系统在遭受大扰动后的暂态响应特性, 其研究方法和理论基础较为复杂。时域仿真法通过建立系统的详细数学模型, 采用数值积分方法求解系统的动态响应过程, 这种方法能够较为准确地反映系统在各种扰动条件下的动态特性, 但计算量较大。能量函数法则是基于系统能量守恒原理, 通过构建系统的能量函数来评估其动态稳定性。该方法计算效率较高, 但对系统模型的精确性要求较高。在动态电压稳定性分析中, 还需要考虑光伏发电系统的控制特性、保护装置的动作特性以及负荷特性等多个因素的影响, 通过动态电压稳定性分析, 可以评估系统在各种

扰动条件下的稳定性裕度, 为制定系统保护策略和控制措施提供重要依据。

(三) 仿真分析

仿真分析作为一种重要的研究手段, 能够全面模拟光伏发电系统并网运行的各种工况, 通过构建包含发电设备、输电网络、负荷特性等完整系统模型, 可以研究系统在不同运行条件下的响应特性。常用的仿真软件如电磁暂态仿真程序和系统仿真工具包等, 都具备强大的模型库和分析功能, 能够满足各种复杂系统的仿真需求。在仿真分析中, 需要特别注意模型的准确性和仿真参数的合理设置, 通过仿真分析, 可以预测系统在各种运行工况下的表现, 评估各种控制策略的效果, 为系统的优化设计和运行调整提供重要参考。此外, 仿真分析还可以帮助研究人员深入理解系统的动态特性, 发现潜在的问题, 并提出改进措施。

三、光伏发电并网电压调压策略

(一) 有功电流电压调整策略

有功电流电压调整策略作为光伏发电系统并网运行中的基础调压手段, 其核心思想在于通过精确调节系统的有功功率输出以实现电压的稳定控制。当电网电压出现波动时, 光伏发电系统可通过调整最大功率点跟踪控制策略来改变其输出特性, 从而实现电压的动态调节, 这种调节方式具有较高的响应速度, 特别适用于短时间尺度的电压波动调节。在实际应用过程中, 有功电流调节策略需要重点考虑光照强度变化、温度变化等外部环境因素的影响, 这就要求建立更为完善的预测模型和控制策略体系。由于有功功率的调节会直接影响到系统的整体发电效率, 因此在进行调压控制时必须权衡系统效率与电压稳定性之间的关系, 建立科学合理的平衡机制。此外, 有功电流调节还需要严格考虑系统的功率容量限制、设备保护要求等硬性约束条件, 通过建立多层次的保护机制来确保系统在安全范围内稳定运行。

(二) 无功电流电压调整策略

无功电流电压调整策略在光伏发电系统的电压控制中具有不可替代的重要地位, 其主要通过调节系统的无功功率输出来实现电压的稳定控制。静态无功补偿器作为典型的无功功率调节装置, 能够根据电网电压的实时变化情况, 动态调整其无功功率输出, 从而实现电压的快速精确调节^[1]。与此同时, 静态同步补偿器凭借其更快的响应速度和更精确的控制特性, 能够实现无功功率的连续平滑调节, 这使得系统具有更强的电压调节能力。在实际应用中, 这类装置通常采用模糊控制、自适应控

制等先进控制策略，通过优化控制算法提高系统的整体控制性能。在无功电流调节过程中，需要充分考虑系统的动态特性和稳定性要求，建立完善的系统模型，通过理论分析和仿真验证来避免因控制不当导致的系统振荡问题。同时，考虑到经济性因素的重要影响，需要通过深入的技术经济分析，合理配置无功补偿装置的容量，实现投资效益的最优化。此外，无功电流调节策略还需要考虑系统的功率因数要求、谐波限制等多方面因素，通过综合优化来确保系统的稳定运行。

（三）有功和无功功率联合调整策略

有功和无功功率联合调整策略通过将有功调节和无功调节进行有机结合，形成了一种更为全面和高效的电压控制方案。联合调整策略的实施需要建立完善的协调控制机制，通过合理配置控制参数，确保有功调节和无功调节之间的协调配合。在具体实施过程中，可以根据电压波动的特性和系统运行状态，灵活选择不同的调节方式，例如对于快速的电压波动，优先使用响应速度更快的无功调节；而对于持续的电压偏差，则可以通过有功调节来实现更为经济的控制效果^[2]。同时，联合调整策略还需要考虑系统的经济性和可靠性要求，通过建立多目标优化模型，采用先进的优化算法来实现各项技术指标的均衡。在策略执行过程中，需要建立完善的监测和评估机制，通过实时监测系统运行状态，动态调整控制策略，确保系统始终保持最优运行状态。此外，联合调整策略的实施还需要考虑设备的使用寿命和维护成本等因素，通过合理规划来实现系统的长期稳定运行。

（四）先进控制技术的应用

1. 瞬时电压电流控制

瞬时电压电流控制技术通过建立高精度的实时监测和快速响应机制，实现了光伏发电系统的精确控制。该技术采用高速数字信号处理器对电压电流信号进行高频采样和实时处理，通过复杂的控制算法实现系统的快速动态响应。在控制过程中，需要综合考虑电网扰动、负荷变化、系统参数波动等多种影响因素，通过建立准确的系统数学模型和设计合理的控制策略来提高控制效果。瞬时控制技术的应用显著提高了系统的动态性能，使得光伏发电系统能够更好地适应电网的各种复杂运行工况。该技术的实施过程中需要重点关注系统的抗干扰能力和稳定性要求，通过优化控制参数和改进控制算法来提高系统的整体性能^[3]。此外，瞬时电压电流控制还需要考

虑数据采集的精度要求、信号处理的时延影响以及控制执行的可靠性等因素，通过采用先进的硬件设备和优化的软件算法来确保控制效果。

2. 智能算法在电压控制中的应用

智能算法在光伏发电系统的电压控制中发挥着日益重要的作用，其应用范围不断扩大，控制效果不断提升。遗传算法通过模拟生物进化过程中的选择、交叉和变异机制，能够在复杂的解空间中有效搜索最优解，特别适用于系统参数的优化和控制策略的制定。粒子群算法则通过模拟群体智能行为，利用群体中个体之间的信息共享和相互学习机制，实现了对控制参数的快速优化，这些智能算法的应用不仅显著提升了系统的控制性能，同时也为系统的自适应控制和预测控制提供了新的技术途径^[4]。在实际应用中，智能算法往往需要与专家系统、模糊控制等其他先进控制技术相结合，通过建立综合性的控制体系来提高系统的整体控制效果。

结语

光伏发电作为一种重要的可再生能源发电方式，其并网电压稳定性及调压策略对于确保电网安全、稳定运行具有重要意义。本文首先分析了光伏发电并网电压稳定性的影响因素，然后探讨了静态电压稳定性分析工具、动态电压稳定性分析和仿真分析等分析方法，最后提出了多种调压策略，包括有功电流电压调整策略、无功电流电压调整策略、有功和无功功率联合调整策略，以及先进控制技术的应用，通过本文的研究，可以为光伏发电并网电压稳定性及调压策略的制定提供理论参考和实践指导。未来，随着技术的不断发展和进步，相信光伏发电并网电压稳定性及调压策略的研究将会更加深入和完善。

参考文献

- [1] 罗日腾. 分布式光伏发电并网对配网电压的影响分析[J]. 电气技术与经济, 2023, (10): 7-9+16.
- [2] 叶丽娟. 光伏发电并网对地区配电网电压分布的影响[J]. 光源与照明, 2021, (06): 89-90.
- [3] 张国祥. 论大规模光伏发电并网系统电压稳定分岔[J]. 科技创新导报, 2019, 16(10): 140-141.
- [4] 程传飞. 保证光伏发电并网配网电压稳定的策略[J]. 通信电源技术, 2018, 35(07): 231-232+234.