

分布式光伏并网电压控制策略

李健

南方电网综合能源贵州有限公司，贵阳市，550002；

摘要：伴随分布式光伏大量接入电网，其并网电压问题愈发突出，严重影响电网安全稳定运行。本文针对分布式光伏并网电压控制策略展开研究，先阐述分布式光伏并网特性、电压问题及成因，接着分析现有控制策略，包括传统电压控制法、基于逆变器的控制策略以及智能控制策略。随后设计出分布式光伏并网电压综合控制策略，涵盖总体思路、分层控制结构与具体实现方式。通过构建仿真模型，进行不同工况仿真分析与实验验证，评估控制策略有效性。研究表明，所提综合控制策略可有效解决分布式光伏并网电压问题，提升电网运行稳定性与可靠性。

关键词：分布式光伏；并网电压；控制策略；仿真验证

DOI：10.69979/3041-0673.25.12.022

引言

近年来，分布式光伏发电因清洁可再生优势广泛应用。大量接入改变传统配电网结构，其输出间歇性、波动性致电网电压波动、越限，影响电能质量与稳定。故研究有效控制策略意义重大。本文剖析电压问题，提出综合控制策略并验证，为解决工程难题提供参考。

1 分布式光伏并网电压问题概述

1.1 分布式光伏并网特点

分布式光伏具有分散性、小规模、贴近负荷中心特征，多安装于居民屋顶、工商业建筑等用户侧，发电功率多在数千瓦至兆瓦级。其输出受光照、温度影响，间歇性、波动性显著，且可经低压、中压等多电压等级灵活并网，增加电网运行复杂度。因靠近负荷中心，可直接供电，降低输电损耗、提升能源效率，但其分散性也加大电网管理难度，需更精细控制策略保障稳定运行。

1.2 电压问题表现

分布式光伏并网后电压问题主要包括电压波动、越限及不平衡。电压波动指电网电压短时间内快速变化，由光伏输出功率随光照强度骤变所致，会损害电子设备等电压敏感设备。电压越限即电压超出允许范围，光伏输出功率较大时易引发局部过电压，功率较小时易出现欠电压，不仅影响用户用电安全，还可能损坏电网设备、增加运行成本。电压不平衡表现为三相电压幅值与相位不一致，会影响电力设备正常运行、降低电能质量，使电动机等设备产生附加损耗，进而降低设备效率与使用寿命。

1.3 电压问题产生原因

分布式光伏并网电压问题成因主要有：其一，输出功率具有间歇性、波动性，受光照、温度影响随机变化，

导致电网电压难稳控；其二，接入位置不合理或容量过大，改变局部电网潮流分布，如负荷轻区域大量接入易致电压升高；其三，传统配电网基于单向潮流设计，分布式光伏接入使其形成多电源有源网络，原有结构参数难适应，致电压控制困难；其四，逆变器控制参数设置不当会影响并网电压，2023 年江苏苏州吴江区一分布式光伏项目，因部分逆变器控制参数不当，夏季高温时光照骤变，致局部电网电压波动超 5%，影响居民用电稳定性。

2 现有分布式光伏并网电压控制策略分析

2.1 传统电压控制方法

传统电压控制方法主要包含调节变压器分接头、投切电容器组等。调节变压器分接头，是通过改变变压器变比来调整电网电压，当电网电压过高时，降低变压器分接头；当电网电压过低时，升高变压器分接头^[1]。这种方法简单可靠，但调节速度较慢，调节范围也有限，难以及时应对分布式光伏输出功率的快速变化。

投切电容器组，则是通过在电网中投入或切除电容器，来调节无功功率，从而实现电压控制。当电网电压过低时，投入电容器组，增加无功功率注入，提升电网电压；当电网电压过高时，切除电容器组，减少无功功率注入，降低电网电压。然而，电容器组投切为分级调节，无法实现连续电压调节，且频繁投切会影响电容器使用寿命^[2]。

传统电压控制方法在分布式光伏大规模接入前应用广泛，但面对分布式光伏并网带来的电压问题，其局限性逐渐显露，需要结合其他控制策略，来提升电压控制效果。

2.2 基于逆变器的控制策略

基于逆变器的控制策略，是借助分布式光伏逆变器

的无功调节能力,来控制并网点电压^[3]。逆变器可通过控制输出无功功率,改变电网无功潮流,进而实现电压调节。常见的基于逆变器的控制策略,有恒功率因数控制、恒电压控制和下垂控制等。

恒功率因数控制,是指逆变器按固定功率因数输出有功和无功功率。该控制策略简单易行,但无法依据电网电压变化实时调整无功功率,对电压控制效果有限。恒电压控制,即逆变器根据电网电压变化,实时调整输出无功功率,使并网点电压维持在设定值附近。此控制策略能有效抑制电压波动与越限问题,但需要精准测量电网电压,对控制系统要求较高。下垂控制是一种基于功率-电压特性的控制策略,逆变器根据并网点电压和输出功率变化,自动调整无功功率输出。下垂控制自适应能力较好,能在不同工况下实现电压稳定控制。

基于逆变器的控制策略响应速度快、调节灵活,但逆变器无功调节能力有限,在分布式光伏接入容量较大时,可能无法满足电压控制需求。

2.3 智能控制策略

智能控制策略运用现代智能技术,如人工智能、模糊控制、神经网络等,对分布式光伏并网电压进行控制。智能控制策略能依据电网运行状态和分布式光伏输出功率,实时调整控制参数,实现电压优化控制。

模糊控制是基于模糊逻辑的控制方法,无需建立精确数学模型,可处理复杂非线性问题。模糊控制通过对电压偏差、功率变化等输入量进行模糊化处理,再依据模糊规则推理,得出控制输出。神经网络控制是模仿人类神经系统的智能控制方法,具有强大的自学习与自适应能力,神经网络可通过学习大量历史数据,建立电压与控制参数之间的映射关系,实现电压准确控制^[4]。

智能控制策略能充分利用分布式光伏和电网运行信息,实现更精准的电压控制。但智能控制策略实现需要大量计算资源与数据支持,算法复杂性也增加了系统开发与维护成本。

3 分布式光伏并网电压综合控制策略设计

3.1 控制策略总体思路

分布式光伏并网电压综合控制策略的总体思路,是综合运用传统电压控制方法、基于逆变器的控制策略以及智能控制策略的长处,实现对分布式光伏并网电压的有效控制。该策略以提升电网电压稳定性和电能质量为目标,依据分布式光伏输出功率、电网运行状态等信息,实时调整控制参数,协调各控制设备动作。在控制过程中,先利用智能控制算法对电网运行状态进行预测与分析,确定最优控制方案。然后,根据控制方案,通过调

节变压器分接头、投切电容器组以及控制逆变器无功输出等方式,实现电压联合控制。同时,建立反馈机制,实时监测电网电压变化,依据监测结果对控制策略进行调整与优化,确保电压控制的准确性与可靠性。

3.2 分层控制结构设计

为实现分布式光伏并网电压的有效控制,设计了分层控制结构,涵盖上层决策层、中层协调层和下层执行层。

上层决策层主要负责分析和决策电网全局运行状态。该层运用智能控制算法,如模糊神经网络等,处理分布式光伏输出功率、电网负荷情况、电压变化等信息,制定最优控制策略。上层决策层还需考虑电网安全约束和经济运行要求,保障控制策略的可行性与有效性。

中层协调层主要协调各控制设备间的动作。该层依据上层决策层制定的控制策略,将控制指令分解为具体控制信号,发送给下层执行层各控制设备。中层协调层还需实时监测各控制设备运行状态,根据监测结果调整控制信号,确保各控制设备协调配合。

下层执行层主要负责执行具体控制指令。该层包含变压器分接头调节装置、电容器组投切装置和逆变器等控制设备。各控制设备根据中层协调层发送的控制信号,调节电网电压。下层执行层还需实时反馈控制设备运行状态和调节结果,为上层决策层和中层协调层决策提供依据。

3.3 具体控制策略实现

在分层控制结构基础上,具体控制策略实现如下:

变压器分接头调节:根据上层决策层指令,当电网电压长期偏离允许范围时,调节变压器分接头。调节过程中,需考虑变压器调节范围和速度,避免过度调节导致电压波动。

电容器组投切:依据电网无功需求和电压变化,在中层协调层协调下,对电容器组进行投切操作。投切过程中,要考虑电容器组容量、投切次数和时间间隔,以延长电容器组使用寿命。

逆变器无功控制:逆变器根据并网点电压和输出功率变化,实时调整无功功率输出。控制过程中,可采用下垂控制策略,使逆变器根据电压偏差自动调整无功功率输出,提高电压控制自适应能力。

同时,为提高控制策略可靠性和稳定性,还需建立故障诊断和容错机制。当控制设备出现故障时,能及时检测并进行故障隔离,保障系统正常运行。

4 分布式光伏并网电压控制策略的仿真与验证

4.1 仿真模型建立

为验证分布式光伏并网电压控制策略有效性,构建了包含分布式光伏、电网、控制设备等仿真模型。仿真模型借助电力系统仿真软件,如 MATLAB/Simulink 等进行搭建,在仿真模型中,分布式光伏采用光伏电池模型模拟,考虑光照强度、温度等因素对光伏输出功率的影响^[5]。电网采用配电网模型模拟,包含输电线路、变压器、负荷等元件。控制设备包括变压器分接头调节装置、电容器组投切装置和逆变器等,按分层控制结构建模。通过对仿真模型参数设置与调整,使其能准确反映实际电网运行特性和分布式光伏并网情况的特征。

4.2 不同工况仿真分析

在建立仿真模型后,进行了不同工况仿真分析。主要考虑光照强度变化、负荷变化和分布式光伏接入容量变化等工况。在光照强度变化工况下,模拟了光照强度突然增大和突然减小的情况。仿真结果显示,采用综合控制策略后,电网电压波动显著减小,能快速恢复到允许范围内。在负荷变化工况下,模拟了负荷突然增加和突然减小的情况。结果表明,综合控制策略能根据负荷变化及时调整控制参数,维持电网电压稳定。在分布式光伏接入容量变化工况下,模拟了不同容量的分布式光伏接入电网的情况,仿真结果表明,综合控制策略在不同接入容量下,都能有效控制电网电压,提高了电网适应性和稳定性^[6]。

4.3 实验验证

为进一步验证控制策略有效性,搭建了实验平台。实验平台包含分布式光伏模拟系统、电网模拟系统和控制设备等。通过实验平台,对不同工况下电压控制效果进行实验验证。

实验结果与仿真结果基本一致,表明综合控制策略能有效解决分布式光伏并网电压问题。在实验过程中,还对控制策略响应速度、调节精度等性能指标进行测试,结果显示控制策略性能表现良好。实验验证为综合控制策略实际应用提供了有力支撑。

5 结论与展望

5.1 研究成果总结

本文围绕分布式光伏并网电压控制策略展开研究,成果如下:剖析其并网特点、电压问题及成因,为策略设计奠基;对比现有控制策略并分析优劣;设计含分层结构的综合控制策略,融合传统、逆变器及智能控制优点,控制效果良好;经仿真与实验验证,该策略能有效解决并网电压问题,提升电网稳定性与可靠性。

5.2 研究不足与改进方向

尽管本文提出的综合控制策略取得较好控制效果,但仍存在不足。比如,智能控制算法计算复杂度较高,需进一步优化以提高实时性;控制策略在极端工况下的鲁棒性还需加强。

未来研究可从以下方面改进:一是进一步优化智能控制算法,降低计算复杂度,提高控制策略实时性与准确性。二是加强极端工况下控制策略研究,提升控制策略鲁棒性与适应性。三是结合实际电网运行情况,对控制策略进行现场测试与优化,推动控制策略工程应用。

5.3 应用前景展望

随着分布式光伏大规模发展,分布式光伏并网电压控制策略应用前景广阔。该控制策略可应用于城市配电网、农村电网等不同类型电网,有效解决分布式光伏并网带来的电压问题,提升电网电能质量和运行稳定性。同时,该控制策略还可为分布式光伏大规模接入提供技术支持,促进可再生能源消纳与利用。

此外,随着智能电网技术不断发展,分布式光伏并网电压控制策略可与其他智能电网技术结合,如分布式能源管理系统、需求侧响应等,实现电网智能化运行与管理,为构建清洁、低碳、高效的能源体系贡献力量。

参考文献

- [1] 杨戈辉. 分布式光伏接入配电网对配电网的影响分析[J]. 农村电工, 2023, 31(10): 30-31.
- [2] 孙楚平. 变电站监控系统中电压无功控制的研究[J]. 电气时代, 2012, (07): 66-68+71.
- [3] 刘惠清, 罗东江. 浅谈变电站综合自动化系统的认识[J]. 科技资讯, 2010, (04): 107.
- [4] 赵伟然, 汪海蛟, 李光辉, 等. 分布式光伏并网电压和功率因数协调控制策略[J]. 电力工程技术, 2017, 36(06): 20-26.
- [5] 李翠萍, 曹璞佳, 李军徽, 等. 大规模分布式光伏并网无功电压控制方法综述[J]. 东北电力大学学报, 2017, 37(02): 82-88.
- [6] 张佳. 大规模分布式光伏并网后对电力系统的影响[J]. 光源与照明, 2023, (10): 142-144.

作者简介: 李健, 出生年月: 1990 年 08 月, 性别: 男, 民族: 汉族, 籍贯: 贵州六盘水, 学历: 大学本科(例: 大学本科/大学专科), 职称: 中级(现目前的职称), 研究方向: 光伏发电技术(分布式、集中式)、光伏运维管理等。