

科研成果

分布式光伏对配电网电压质量问题影响研究与应对措施

苏佳斌¹ 王宇²

(1. 南京易司拓电力科技股份有限公司 210000 2. 河海大学能源与电气学院 210000)

摘要: 大量分布式光伏并入低压配电网改变了原来电力潮流分布, 导致台区用户经常出现的电压越限问题。本文基于配电物联网“云管边端”技术体系, 在光伏并网点加装 LTU, 开展光伏逆变器直采直控, 并在智能融合终端统一指挥下, 考虑光伏接入台区的分散性及逆变器双向无功出力的特性, 从局部优化和多点多机协同全局优化两个层面实现台区电压平抑和无功优化控制, 实现“小投入、大产出”, 提升台区弹性能力, 满足配网技术降损和无功电压精益化管理要求。

关键词: 分布式光伏; 电能质量; 应对措施

引言:

节约能源、提高能效是促进减排降碳、绿色发展的根本性举措, 对完成“十四五”能耗控制目标任务、实现碳达峰碳中和目标具有基础性和关键性作用, 分布式光伏接入的新型配电网改变了原有配电网结构, 从而改变了电压分布特征, 配电网安全稳定问题日益突出, 在新型配电网的发展背景下, 分析及解决分布式光伏对配电网的影响, 对保持分布式光伏的可持续发电和配电网安全稳定有重要意义, 本文开展分布式光伏并网对配电网电压质量问题的影响研究, 对于解决配电网电压质量问题具有重大的理论和现实意义。

一、分布式光伏发展现状

分布式光伏发电具有投资小、装配灵活、就近低压并网且电量消纳快的优势。发展分布光伏有利于解决我国发电与负荷不一致的问题, 同时大幅降低传输损失, 减少对大电网的依赖, 并缓解电网的投资压力。随着《2030年前碳达峰行动方案》力争 2025 年新建厂房、公共机构屋顶光伏覆盖率等达 50%, 预计未来我国分布式占比有望加速提升。

随着新型配电网的发展, 传统配电网台区由原来单向潮流变成了双向潮流, 接入的光伏能源是间歇性和波动性变化的, 给台区电压质量和线损管理带来新的挑战。

二、分布式光伏接入对配电网电压质量的影响

随着光伏建设的推进, 将进一步加大分布式大光伏的渗透率, 新型配电网将呈现高可再生能源渗透率和高比例的电力电子设备的特点, 在配电网系统的有功平衡会直接影响系统电压的变化, 电压偏差对电力客户及配电网系统有着重要影响:

分布式光伏的应用造成配电网的供电电压不稳定。由于电网中电路分布较多, 具有紧密相连的特点, 分布式光伏接入配电网使得电压出现持续增高或下降的情况, 会出现电压不稳定的情况。

分布式光伏接入配电网导致馈线上的电压分布发生变化, 其中与接入容量、接入位置有着紧密关系, 光伏

发电通常由逆变器接入电网, 对配电网局部电压稳定产生影响。

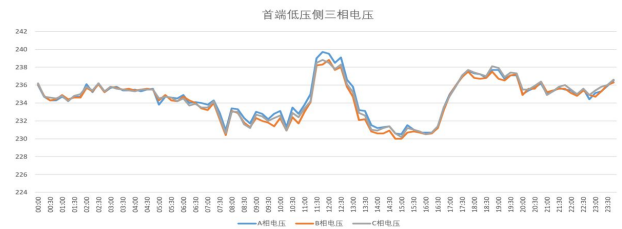
三、配电网电压质量问题分析研究

3.1 典型台区问题分析

为了便于分析和理解配电网台区的电压质量问题, 我们选取了某地区的一个典型台区来开展研究。

1) 台区情况及问题

该台区配变容量 200kVA, 共有用户 63 户, 其中光伏用户 12 户, 装机容量 99.655kW, 光伏渗透率 49.83%, 配变现场运行数据如下:



该台区呈现典型的光伏倒送特征, 最高时倒送 50.94kW, 负载率 25%, 无光伏时台区用电负荷 39.71kW, 负载率 20%。

首端最高电压 239.7V, 最低电压 230V, 末端光伏用户并网点最高电压 248.2V, 最低电压 229.3V, 首末端压差 8.5V, 存在较严重的首末端高电压问题。

2) 运行数据分析

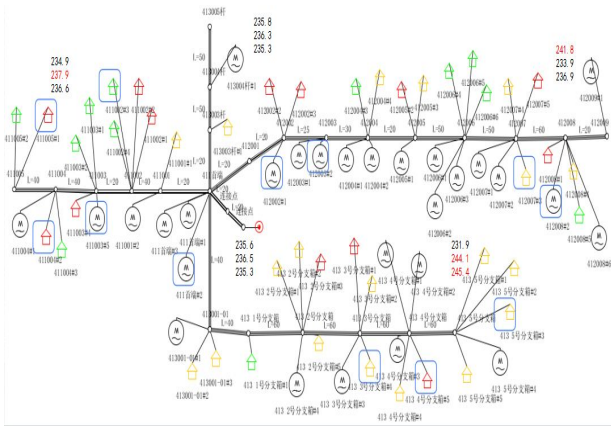
从 2022/6/14 13:00 负荷数据可以看出, 配变低电压侧功率 -49.3kW, 首端电压分别 235.6V、236.5V、235.3V, 西线末端电压最高 237.9V, 东线末端电压最高 241.8V, 南线末端电压最高 245.4V, 首末端压差 10V。东线、南线相间电压差 8~10V, 存在一定的三相不平衡。

3.2 基于无功管控的电压治理策略

3.2.1 无功调压策略

常见的分布式光伏无功调控策略分种模式: 最小功率因数出力模式、无功电压出力模式、自适应电压控制策略模式:

1) 最小功率因数出力模式



在不同光伏出力条件下，优先保证光伏并网功率因数， $\cos \phi(P)$ 控制的具体控制曲线图如图 1 所示：

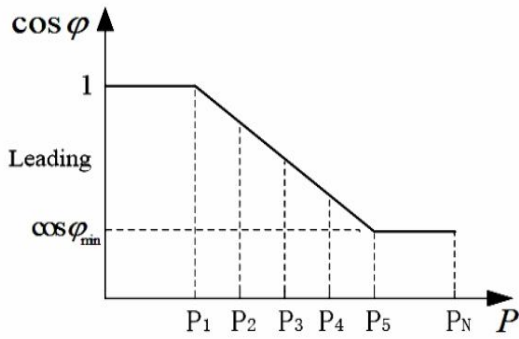


图 1 $\cos \phi(P)$ 控制策略曲线

$\cos \phi(P)$ 控制策略的数学表达式如下公式：

$$\cos \phi = \begin{cases} 1 & 0 < P < P_1 \\ 1 - \frac{1 - \cos \phi_{\min}}{P_5 - P_1} (P - P_1) & P_1 \leq P \leq P_5 \\ \cos \phi_{\min} & P_5 \leq P \leq P_N \end{cases}$$

公式中 P 为光伏有功出力值； $\cos \phi_{\min}$ 为功率因数下限值。

2) 无功电压出力模式

利用光伏逆变器无功资源，不考虑光伏出力，优先保证并网点电压水平， $Q(U)$ 控制策略出力曲线如下图 2 所示，图中光伏发出无功为正，吸收无功为负。

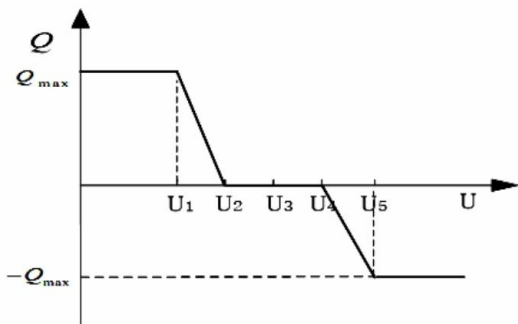


图 2 $Q(U)$ 控制策略曲线

根据图 2 光伏电源的无功电压控制策略，可整定无功/电压出力原则，公式如下式：

$$Q_i = \begin{cases} Q_{i \max} & U_i < U_1 \\ \frac{Q_{i \max}}{U_1 - U_2} (U_i - U_2) & U_1 \leq U_i < U_2 \\ 0 & U_2 \leq U_i \leq U_4 \\ \frac{Q_{i \max}}{U_3 - U_4} (U_i - U_3) & U_4 < U_i \leq U_5 \\ -Q_{i \max} & U_i > U_5 \end{cases}$$

U_i 、 Q_i 为 i 节点处的电压和光伏的无功出力， U_1 、 U_5 是电网电压运行的上下限， U_2 、 U_4 根据电网运行的实际需求进行整定。

3) 自适应电压控制策略模式

自适应电压控制策略实现了基于电压和有功出力的联合控制，有效区别了不同并网点位置光伏的无功补偿幅度，改善系统调压效果，实现分布式光伏无功出力的实时快速响应，削弱电压波动，减小电压越限。

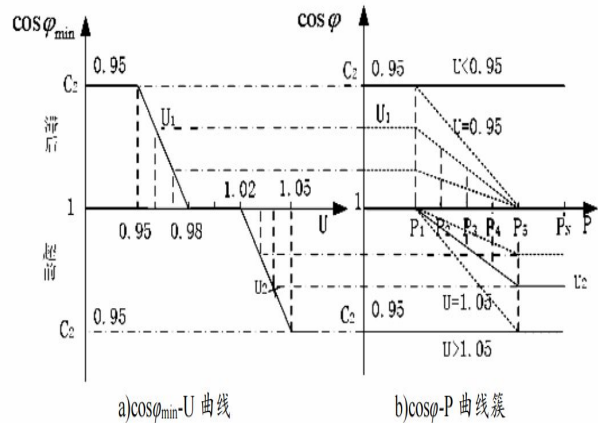


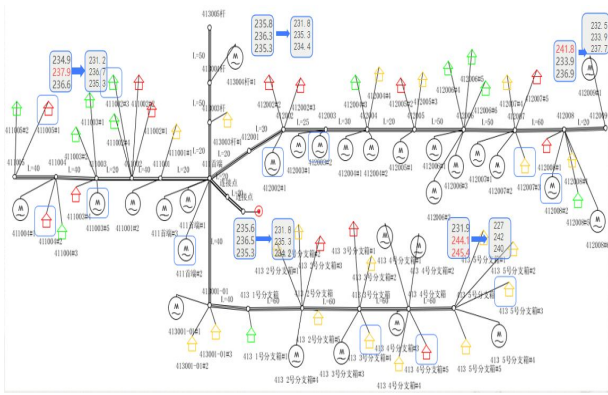
图 3 $\cos \phi(U, P)$ 控制策略曲线

根据并网点的电压水平决定分布式光伏功率因数是超前运行还是滞后运行，并确定 $\cos \phi_{\min}$ 的值，该值确定了后续 $\cos \phi - P$ 曲线簇中的某条曲线，然后根据分布式电源的实际有功出力 P 确定分布式光伏实际运行的功率因数 $\cos \phi$ 。

3-b 中横坐标轴以下部分，功率因数超前运行，分布式光伏吸收无功，功率因数随着有功出力的增大而降低，以增大无功功率吸收值，削减电压抬升幅度；当电压偏低时，3-b 中横坐标轴以上部分，功率因数滞后运行，发出无功，功率因数随着有功出力的增大而增大，以减小无功功率发出值，避免过度的无功补偿。

3.2.2 基于无功的电压调整策略仿真分析

所选台区配变型号为 S11-200/10，分为东线、西线、南线、北线区域，线路最远供电距离 360 米，台区用电负荷 39.71kW，光伏渗透率达 49.83%，存在首末端高电压和三相不平衡问题，考虑有功对用户经济影响因素，又能解决电压问题，利用光伏逆变器本身无功资源，选择无功电压出力模式，仿真如下：

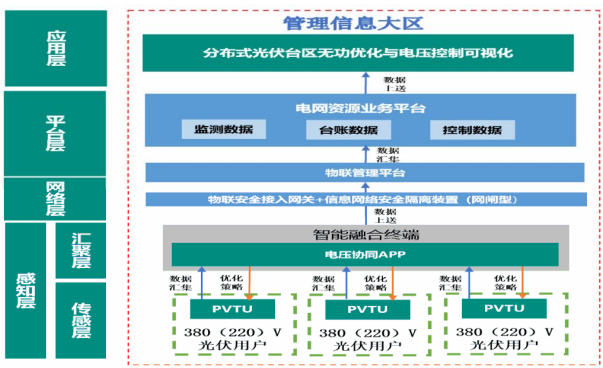


补偿前首端电压分别为 235.6V、236.5V、235.3V，末端最高电压 245.4V，首末端压差 10V；

通过对光伏逆变器无功出力调控，补偿后首端电压为 231.8V、235.3V、234.2V，整个台区各节点电压补偿前下降了 0.8~9.3V，即节点电压下降 4.2%。

四、基于配电物联网技术实现光伏台区电压质量管控

项目总体方案基于配电物联网“云管边端”技术体系，在光伏并网点加装光伏用户无功调控终端，充分考虑光伏接入台区的分散性及逆变器双向无功出力的特性，并在智能融合终端“分布式光伏无功调控 APP”的指挥下，从局部优化和多点多机协同全局优化两个层面实现台区电压平抑和无功优化控制，实现“小投入、大产出”，提升台区弹性能力，满足配网技术降损和无功电压精益化管理要求。项目技术结构如下图所示：



技术架构图

380 (220) V 光伏用户并网点加装光伏用户无功调控终端，采集并网点电压、电流数据，向下与光伏逆变器通信，向上与智能融合终端通信，实现用户无功电压数据采集、优化策略接收与执行。

在智能融合终端容器内部署分布式光伏无功调控 APP，向下与光伏用户无功调控终端通信，实现全台区无功电压信息汇集，进行多点协调，无功优化策略并下发策略。

4.1 LTU 直采直控

380 (220) V 光伏用户并网点加装 LTU，采集光伏用户并网点电压、电流等数据，向下与光伏逆变器通信，

向上与智能融合终端通信，实现用户无功电压数据采集、优化策略接收与执行：

1) 用户负荷采集：加装二次电流互感器 (5/5)，监测分布式用户并网点电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数等运行数据；

2) 逆变器采集：向下 RS485 方式、MODBUS 协议采集逆变器并网点的电压、电流、有功功率、功率因数等数据；

3) 就地无功调压：根据并网点电压、有功功率等数据，结合光伏逆变器 Q (P)、Q(U)等控制模式，建立与光伏逆变器通信，主动配置光伏逆变器的无功出力设定值，并以 SOE 方式存储记录；

4.2 智能融合终端无功调控 APP 策略

在智能融合终端容器内部署分布式光伏无功调控 APP，向下与 LTU 通信，实现全台区无功电压信息汇集，多点协调，无功优化策略并下发策略：

1) 用户负荷采集：每 5 分钟调用多模通信模块接口，采集分布式用户并网点电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数等运行数据，通过调用融合终端数据中心的接口，更新用户负荷数据；

2) 光伏逆变器采集：每 5 分钟调用多模通信模块接口，采集逆变器并网点的电压、电流、有功功率、功率因数等数据，通过调用融合终端数据中心的接口，更新光伏逆变器数据；

一、结论

本文分析了分布式光伏接入配电网系统，带来配电网电压的波动问题，以此提出了电压越限的分析及应对举措，研究了体系架构和配电网电压的变化幅度情况，通过配电物联网“云管边端”技术体系制定了改善系统运行的策略，局部优化和多点多机协同全局优化两个层面实现台区电压平抑和无功优化控制，实现“小投入、大产出”，提升台区弹性能力，满足配网技术降损和无功电压精益化管理要求。

参考文献：

[1] 王世杰, 胡威, 高鑫, 等. 新能源并网发电对配电网电能质量的影响研究 [J]. 计算技术与自动化, 2021, 40 (2): 47-52.

[2] 宋惠忠, 俞建军, 罗耀强. 一种基于网络化的新型电能质量综合监测系统的实现. 电力设备, 2008, 9 (4): 46-48.

[3] 毛锐, 袁康龙, 钟杰峰, 陈思思, 林创. 基于概率潮流法的含分布式光伏的配电网电压状态评估 [J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(2): 123-130.

[4] 刘卓, 尹忠东, 詹惠瑜, 等. 计及多种扰动源的有源配电网电能质量区间量化综合评估 [J]. 现代电力, 2021, 38 (1): 24-31.

[5] 罗耀强. 新型配电网电能质量监测与溯源系统研究 [J]. 电力技术研究, 2022[4]3, 1-3.