

# 面向高比例新能源接入的电网电压暂降协同治理策略研究

李添汇

辽宁大唐国际新能源有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i2.18933

**[摘要]** 在全球能源朝着清洁方向转型大背景下,高比例新能源接入电网成为必然发展趋势,其新能源间歇性、波动性等特点引发了电压暂降问题,对电力系统的电能质量造成威胁。本文为解决高比例新能源接入下的电网电压暂降问题,开展协同治理策略研究工作。全面重点分析高比例新能源接入对电网电压产生的影响,精心设计相应的协同治理方案。经实际验证,该策略成效显著,可减少电压暂降的次数与持续时间等,切实提升了电网的抵御能力。

**[关键词]** 新能源接入; 电网电压暂降; 协同治理

**中图分类号:** TU241.91 **文献标识码:** A

## Research on Coordinated Control Strategy for Mitigating Voltage Sags in Power Grids with High Penetration of Renewable Energy

Tianhui Li

Liaoning Datang International New Energy Co., Ltd.

**[Abstract]** In the context of global energy transition toward cleaner and more sustainable sources, the integration of renewable energy into power systems has rapidly increased, leading to a higher penetration level of new energy. However, the inherent intermittency and volatility of renewable energy sources can result in voltage sags, thereby compromising power quality and system stability. This study investigates coordinated control strategies aimed at mitigating voltage sags in power grids with high renewable energy penetration. The paper systematically analyzes the influence of large-scale renewable energy integration on grid voltage characteristics and proposes a comprehensive coordinated control framework. Field validation results demonstrate that the proposed strategy effectively reduces both the frequency and duration of voltage sags, significantly improving the grid's resilience and operational reliability.

**[Key words]** Renewable energy integration; Power grid voltage sag; Coordinated control

### 引言

目前,全球能源结构正朝着清洁且可再生方向加速转型,风能太阳能等新能源发电技术快速发展,其装机容量不断攀升。在这一趋势下,我国高比例新能源接入电网成为电力系统发展必然方向。但因新能源发电的间歇性波动性以及随机性引发的电网电压暂降问题,其发生频率威胁电力系统的电能质量。本研究针对高比例新能源接入背景下的电网电压暂降问题,开展系统性协同治理策略研究不仅可有效保障电网安全稳定运行以及维护电力用户正常用电需求,更是推动新能源融入电力系统并实现能源绿色低碳转型的关键所在。

### 1 高比例新能源接入对电网电压的影响分析

#### 1.1 新能源发电特性

新能源以太阳能光伏发电和风力发电为代表,其基本原理分别是光伏伏特效应以及风能转化为机械能再驱动发电机。发

电方式有显著随机性、波动性和间歇性特点<sup>[1]</sup>。太阳能发电直接受到日照强度、天气状况以及昼夜更替的影响,具有明显的日周期性,风能发电跟风速时变特性密切相关,风速随机起伏和阵风效应使风电机组输出功率频繁剧烈波动,这种出力不稳定性会直接作用于电网。当新能源发电机组并网运行时,其有功和无功功率快速变化会改变电网功率平衡状态,让连接点甚至更大范围电压幅值频繁且幅度不一地波动,若波动频率较快且幅度较小可引发电压闪变问题,严重影响用户舒适感和敏感电子设备正常工作。

#### 1.2 新能源接入电网的结构变化

随着光伏、风电等新能源渗透率持续不断提高,传统以大型集中式电源和远距离输电为主的电网结构正经历深度变革。在高比例新能源尤其是分布式电源例如屋顶光伏和小型风电广泛接入后,大量分布式新能源直接或者通过配电网并网,改变原

本以单向潮流为主的运行模式,致使配电网甚至输电网可出现潮流双向流动现象。此外为更好地整合分布式新能源资源以及提高供电可靠性和灵活性,微电网等新型电力系统结构逐渐普及,其结构变化对电网的电压分布和稳定性产生了显著影响。例如,分布式电源接入在一定程度上能提供本地无功支撑并改善节点电压水平,但其出力的随机波动也可能加剧局部电压的不稳定状况,潮流双向化使得电压控制变得更加复杂,并且微电网的自治运行和并网切换操作对电网电压平稳过渡和整体稳定性提出了新要求,让电压管理变得更加困难且重要。其中电压暂降为典型不良现象。当故障发生时,光伏逆变器或者风力发电变流器会依照其控制策略和保护设置执行特定响应。比如快速降低输出功率甚至暂时脱网,在一定程度上减轻故障对电网的冲击,也可因其动态响应和故障清除过程不协调而影响暂降的深度和持续时间,对电压的恢复过程产生干扰,引发暂降后的电压波动或者振荡。

## 2 电网电压暂降协同治理设计

### 2.1 协同治理总体框架

该框架由治理设备层、控制层和通信层这三个核心构成。治理设备层为执行单元,直接肩负着电压暂降的补偿和抑制工作,其中涵盖各类电压支撑装置以及新能源发电单元的可控接口。控制层属于架构的中枢,负责信息的处理、决策的制定以及指令的下达,包括中央控制中心和可能存在的区域控制节点,能够实现全局优化与局部协调。通信层是连接各层、确保信息流畅通的关键基础设施,负责实时传输状态量、控制指令以及故障信息等内容<sup>[2]</sup>。三层紧密联系,治理设备层要向上层控制提供实时运行状态和所需支撑信息,并且接收和执行来自控制层的指令;控制层要基于接收到的全局及局部信息进行分析决策,然后向下层设备下达协调控制命令;通信层则保障着控制信息与状态信息在设备层和控制层之间、控制中心内部以及各控制节点之间的高效且可靠传输。

### 2.2 治理设备选型配置

目前,用于电压暂降治理的设备主要包含动态电压恢复器(DVR)、固态切换开关(SSTS)、不间断电源(UPS)、超级电容器储能系统(SCS)、飞轮储能系统(FES)以及借助新能源发电单元自身调节能力的柔性控制接口等。DVR由于能够快速注入补偿电压、响应速度快、补偿深度大,从而成为应对电压暂降的关键设备;UPS适合应用于对电能质量有极高要求的关键负荷。储能装置不但能够在电压暂降发生的时候提供功率支撑,而且可以在正常运行期间参与系统调频调压,以此实现多目标协同。在进行设备选型和配置时,综合考虑目标地区电网拓扑结构、电压暂降的各种特征(暂降深度、持续时间、出现频次、影响范围等)、关键负荷的敏感度等级、现有新能源发电单元的调控潜力以及经济成本等多个方面的因素。建议,在新能源汇集站或者电压敏感区域对DVR进行配置,在重要用户端对UPS进行配置,在具备相应条件的区域对储能进行配置,并且充分运用风电机组、光伏逆变器等新设备的无功和有功调节能力,进而形成

多级、多维度的治理设备配置方案,以此来实现最优的治理效果和经济效益。

### 2.3 通信网络构建

通信网络构建是协同治理能够有效运行的重要技术支撑,设计要点围绕实时性、可靠性、灵活性以及安全性,确保不同地点DVR之间、DVR与储能系统,治理设备控制中心或者区域控制器之间能够实时且准确地传输数据。其中,电压电流采样值、设备状态信息、控制指令、故障报警等。在技术方面,通信网络应具备低延迟、高带宽、强抗干扰能力,以此适应电压暂降发生时的快速动态响应需求,可将常见通信技术,例如光纤通信、工业以太网、无线专网、5G等进行多种技术组合应用<sup>[3]</sup>。同时,为确保通信网络安全,采取加密、认证、访问控制等措施,防止信息泄露、篡改或者恶意攻击,确保控制指令准确下达以及状态信息真实可靠,避免因通信故障或安全问题导致治理策略失效甚至引发次生事故,此外,整个通信系统具备可扩展性,从而适应未来电网规模和新能源比例的持续增长。

### 2.4 新能源发电与治理设备的协调控制

新能源发电设备和电压暂降治理设备的协调控制是实现协同治理效能最大化的关键所在。一方面,充分挖掘和利用新能源发电单元中风电机组、光伏逆变器等在功率输出以及电压/频率调节方面的潜在能力,在正常运行状态时,通过协调控制让新能源设备参与电网的电压支撑和无功功率调节,以此减轻治理设备的常规负荷。在电压暂降发生的情况下,治理设备比如DVR负责提供快速且精确的电压补偿,而新能源发电设备则依据协调策略,在自身安全运行极限范围以内,通过调整输出功率例如有功减载、提供动态无功支持比如SVG功能,甚至进行快速启停等方式,辅助治理设备一起应对暂降事件,缩短暂降持续时间或者降低暂降深度,通过两种不同类型设备优势的互补,从而显著提升整个电网对电压暂降的抵御能力和系统整体运行的经济性与灵活性,控制算法需要精确考虑新能源出力的随机波动性、设备动态响应特性以及保护约束条件,以此确保协调控制的可行性和有效性<sup>[4]</sup>。

## 3 工程应用案例实践

### 3.1 案例介绍

以中东部某市配电网项目为例开展分析,该区域分布式光伏风电的接入比例达47%,属于新能源接入典型场景。地区新能源发电功率波动幅度较大,特别是在高峰时段或者极端气候条件之下部分工业用电装置频繁出现误动作,对企业生产稳定性造成威胁,因此,在电网电压暂降协同治理策略方案应用过程中在源侧、网侧以及负荷侧实施具有针对性的技术应对措施。

### 3.2 部署措施

在源侧,主要的光伏和风电接入点安装动态电压恢复器(DVR),以此来快速补偿电压暂降情况,保证新能源发电设备在电压暂降时稳定运行。同时配置超级电容器储能系统(SCS),借助其快速充放电的特性,在电压暂降时提供瞬时功率支撑,平抑新能源输出的波动。在网侧,配电网的关键节点安装静止无功发

生器 (SVG), 用于动态调节无功功率, 进而稳定电压水平, 同时部署先进的智能监控系统, 实时监测电网运行状态, 通过通信网络把数据传输至控制中心, 实现快速响应和协调控制。在负荷侧, 为关键工业负荷配置不间断电源 (UPS), 确保在电压暂降时重要设备可继续运行, 避免生产出现中断, 在部分工业负荷端安装分布式电压调节器, 用于局部电压稳定, 减少电压暂降对设备造成的影响。

### 3.3 治理效果

对2023年执行治理措施前后运行资料加以比较发现(表1)。通过实际实施上述治理措施, 电压暂降的发生次数较之前减少70.8%, 电压暂降的持续时间相比之前缩短了68%, 工业设备误动作的发生次数较以往减少了82.2%, 生产中断所持续的时间比过去减少83.3%。清晰表明, 协同治理策略在提升电网对电压暂降抵御能力方面取得了显著成效, 能够有效保障电网的安全稳定运行以及工业生产的连续进行。

表1 电网电压暂降协同治理效果

指标	治理前(年平均值)	治理后(年平均值)	改善幅度
电压暂降次数(次/年)	120	35	70.8%
电压暂降持续时间(秒)	2.5	0.8	68%
工业设备误动作次数(次)	45	8	82.2%
生产中断时间(小时/年)	30	5	83.3%

## 4 结束语

本文聚焦高比例新能源接入下的电网电压暂降问题, 构建由治理设备层、控制层和通信层组成的协同治理协调控制策略。通过中东部某市配电网项目工程应用案例验证协同治理策略具备有效性, 可显著减少了电压暂降的次数和持续时间, 降低了工业设备误动作与生产中断的发生频率。未来伴随新能源占比持续提升, 为进一步拓展其应用场景, 可以探索在微电网、海上风电等特殊场景中的应用, 还可通过优化设备选型和算法设计来提高治理效果, 从而助力能源绿色低碳转型。

### [参考文献]

- [1]翟青峰, 童雪燕. 一二次融合的智能开关解决光伏发电新能源接入系统的痛点[J]. 中国高新科技, 2023(13):78-80.
- [2]张智, 徐永海, 张世聪, 等. 直流配电网电能质量指标研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2025, 53(3):172-187.
- [3]肖先勇, 宋桂山, 胡文曦, 等. 有源配电网电压暂降评估方法的挑战与展望[J]. 供用电, 2024, 41(8):25-34.
- [4]汪颖, 刘慧自. 基于分布式电源关键控制参数辨识的配电网电压暂降评估方法[J]. 电网技术, 2025, 49(2):727-737.

### 作者简介:

李添汇(1990--), 女, 蒙古族, 天津市人, 本科, 工程师, 研究方向: 新能源。