

平抑光伏发电功率波动的电力系统调度方法研究

陆云鹏

国电南瑞南京控制系统有限公司电网调控技术分公司 江苏南京 210000

摘要: 受到阳光辐射变动的影响, 导致光伏发电功率整体呈现随机性、间歇性, 使电力系统运行的稳定性受到影响。为防止光伏发电功率波动影响电力系统运行状态, 本次研究中分析了平抑光伏发电功率波动调度电力系统的方法, 研究中分析接入光伏电力系统模型, 并通过计算功率变化、自回归模型频谱分析对光伏发电功率波动进行识别。在识别光伏发电功率波动的基础上, 通过预调度与预测功率、储能系统调度、优化算法系统调度实现对电力系统的调度, 为光伏发电系统稳定运行提供支持。

关键词: 光伏发电; 功率波动; 电力系统调度

引言:

光伏发电是一种清洁发电方式, 在有效降低发电成本的同时, 为能源可持续发展提供支持。光伏系统将太阳辐射作为发电能源, 而太阳辐射受到环境因素影响程度大, 相应地导致光伏发电功率处于波动状态, 由此在一定程度上对电网运行产生负面影响。保障确保电网的稳定运行, 需要采取有效平抑光伏发电功率波动的电力系统调度方法, 以此使电网对光伏发电波动适应能力、调节能力造成影响, 实现电力资源配置优化、提高光伏发电效率, 为光伏系统高效发电提供支持。

1 光伏发电功率波动特性

1.1 随机性

光伏发电功率的预测精度会明显受到气候变化的影响, 表现为晴天太阳辐照度稳定, 预测效果理想, 而多云或雨天时的预测精度较差。光伏发电实际出力值、预测值间存在偏差, 这种偏差是光伏发电功率波动具有随机性的原因。太阳辐射是光伏发电的能量来源, 当气候、季节、地理位置等环境因素对太阳辐射造成影响, 相应地会导致光伏发电功率波动, 而太阳辐射受到环境因素的影响引起光伏发电功率波动, 使这种波动产生随机性。光伏发电功率波动的随机性在一定程度上对电网调度、运行造成负面影响, 实际工作中需要通过预测、储能系统等方式控制光伏发电功率波动的随机性。

1.2 间歇性

光伏发电功率的预测精度会明显受到气候变化的影响, 表现为晴天太阳辐照度稳定, 预测效果理想, 而多云或雨天

时的预测精度较差。因为光伏系统发电需要依靠太阳辐射, 而夜间或阴天时太阳辐射较弱, 所以不能为光伏系统提供充足的电能产生条件, 相应的发电功率较低, 而在阳光充足情况下光伏系统能够获取充足的太阳辐射从而进行发电, 相应的发电功率较大, 由此可见太阳辐射是否充足会对光伏引起光伏发电功率间接性变化, 对电网的供需平衡造成影响。运用储能系统在光伏发电功率高峰时段储存电能、在低谷时段释放电能, 以此有效控制功率间歇性, 使光伏发电稳定供应。

2 接入光伏电力系统模型

通过中心调度站持续性监测电力系统状态, 在此期间收集系统负荷数据, 同时中心调度站接收光伏发电系统发出的预计负荷需求信息, 中心调度站整合预计符合需求信息, 根据整理结果动态预测光伏发电系统负荷, 并根据预测结果开展能源分配、系统调度工作。鉴于光伏发电功率受到环境影响具有随机性、间接性, 模拟光伏发电系统在不同环境下的性能^[1]。选定时间离散化进行模拟分析, 划分为时段, 将时段总数记作 T , 且设定所有时段内的环境因素处于恒定状态,

模型复杂程度被降低的同时, 光伏电站的发电特性能够通过动态信息被现实, (1) 式所示为接入光伏电力系统模型:

$$P_{pv}(T) = P_{st} \times \frac{G}{G_{st}} (v + W_{we} - W_{fs}) \quad (1)$$

式中: $P_{pv}(T)$ – 不同时段光伏发电功率;

P_{st} – 标准而定条件下光伏输出功率额定值；

G – 光伏电站所在地点辐照度；

G_{st} – 太阳辐照度；

V – 功率温度系数；

W_{ve} – 光伏电池温度；

W_{fs} – 光伏电站所在地点电池温度；

t – 各时段时间间隔

(1) 式能够对各时段光伏发电输出功率进行描述，实现连续时间离散化，同时降低模型复杂程度、提升计算简易程度，结合实际情况对时段长度进行筛选，有助于为高效率计算、高精度模拟提供保障，为工作人员进行发电系统布局、配置容量、指定运行策略提供支持^[2]。

3 光伏发电功率波动识别

为有效平抑光伏发电功率波动电力系统调度，需要精准识别光伏发电功率波动。

3.1 计算功率变化

识别光伏发电功率波动需要以功率变化率为依据，如

(2) 式所示：

$$RR(t) = \frac{P_{pv}(t) - P_{pv}(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (2)$$

式中： $P_{pv}(t)$ – t 时刻产生的光伏功率；

Δt – 采样时间间隔；

$R(t)$ – 时间 t 功率变化率

通过对功率变化率进行计算，能够对功率波动识别提供支持。

3.2 自回归模型频谱分析

将自回归模型与频谱分析结合用于识别光伏发电功率波动，能够确定功率波动主要集中的时间尺度，如 (3) 式所示：

$$P_{fluct}(t) = P_{pv}(t) - \bar{P}_{pv} \quad (3)$$

式中： $\bar{P}_{pv}$ – 光伏功率滚动均值

对 $P_{fluct}(t)$ 频谱分布进行分析，为功率波动特征频率进行分析提供支持。

4 平抑光伏发电功率波动的电力系统调度方法

4.1 预调度与预测功率

影响光伏发电功率的因素主要包括气候、光照强度等，对光伏发电功率波动特性的精准分析能够为预调度策略的形成创造条件^[3]。伴随预测时间的增加，相应的预测误差会逐渐增大，长期预测的精度难以满足实际应用需求，鉴于此，

本次研究中提出基于 LEA-LSTM 构建光伏发电功率预测模型，以此最大限度上满足预测功率需求。基于 LEA-LSTM 构建光伏发电功率预测模型如 (1) 式所示：

$$Corr(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

式中： $Corr(X, Y)$ – 变量 X 与变量 Y 相关系数；

X_i – 变量 X 第 i 个观测值；

$\bar{X}$ – 变量 X 均值；

Y_i – 变量 Y 第 i 个观测值；

$\bar{Y}$ – 变量 Y 平均值

变量 X 均值计算如 (2) 式所示：

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

式中： n – 观测值数量

变量 Y 均值计算如 (3) 式所示：

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (3)$$

4.2 储能系统调度

在储能系统的支持下可实现平抑光伏发电功率波动，具体表现为储能系统能够对光伏发电输出功率进行调节。储能系统充放电功率如 (4) 式所示，能量状态如 (5) 式所示：

$$P_{ESSS} = P_{ch} - P_{dis} \quad (4)$$

式中： P_{ch} – 储能系统充电功率；

P_{dis} – 储能系统放电功率

$$E_{ESS}(t+1) = E_{ESS}(t) + \eta_{ch} P_{ch} \Delta t - \frac{P_{dis} \Delta t}{\eta_{dis}} \quad (5)$$

式中： $E_{ESS}(t)$ – 储能系统在 t 随时可剩余能量；

$E_{ESS}(t+1)$ – 储能系统 $t+1$ 时刻能量；

η_{ch} – 储能系统充电期间能量转换效率；

Δt – 连续两个时间点的差；

η_{dis} – 储能系统放电过程能量转换效率

4.3 优化算法系统调度

运用优化算法可实现平抑光伏发电功率波动电力系统调度，常用方法为小生境粒子群优化法。在小生境粒子群优化法的支持下可将小生境机制引入系统调度中，不仅能防止早熟收敛，还能实现全局搜索能力的提升，以此达到平抑光伏发电功率波动的效果。小生境粒子群优化法优化目标函数如 (6) 式所示：

$$\min Z = \alpha C_{loss} + \beta C_{voltage} + \gamma C_{pu} \quad (6)$$

式中: C_{loss} – 系统功率损耗;

$C_{voltage}$ – 电压偏差;

C_{pv} – 光伏弃用率;

α 、 β 、 γ – 权重系数

4.4 双层调度

双层调度由上层调度、下层调度共同组成。

4.4.1 上层调度

上层调度的目标为实现电力系统经济成本最小化, 如 (7) 式所示:

$$C = C_w + C_v + C_r + C_u + C_n \quad (7)$$

式中: C – 电力系统经济成本;

C_w – 电力系统燃料总成本;

C_v – 电力系统用电费用;

C_r – 光伏发电设备维修成本;

C_u – 光伏发电设备采购成本;

C_n – 电力系统维护成本

功率平衡约束条件如 (8) 式所示:

$$P_{bf} - P_{we} - P_{pv}(T) = 0 \quad (8)$$

式中: P_{bf} – 电力系统输出功率;

P_{we} – 电力系统网络损耗;

4.4.2 下层调度

下层调度的目标为系统电力稳定供应, 其功率平衡约束条件参照 (8) 式。为进一步提升平抑光伏发电功率波动效果, 实际调度流程分为 3 个步骤:

(1) 由传感器采集光伏电站的功率数据, 该数据通

过互联网被传送到中心调度站保存;

(2) 由调度中心站设定下层的调度阈值, 将采集的数据和下层调度阈值进行对比, 在此基础上判断发电功率是否存在异常波动;

(3) 以上层调度目标和功率平衡约束为依据, 将调度计划转换为调度指令。

结束语

平抑光伏发电功率波动的电力系统调度能够提升电力系统调度的稳定性、可靠性, 同时保障电力系统运行安全、光伏发电效率。实际开展平抑光伏发电功率波动电力系统调度的过程中, 应当对光伏发电功率波动进行识别, 以此确保平抑光伏发电功率波动电力系统调度的有效性。

参考文献:

[1] 周昊, 梁俊宇, 舒胜, 等. 基于 PID 搜索算法的光储系统优化调度方法研究 [J]. 能源研究与利用, 2024(5):24–29.

[2] 余洋, 王卜潇, 吴玉威, 等. 面向光伏平抑考虑 SOH 与 SOC 的电池储能系统功率分配方法 [J]. 太阳能学报, 2024,45(3):377–388.

[3] 姚福明, 廖逸犇, 史云翔, 等. 考虑水光互补系统参与电力辅助服务的短期优化调度 [J]. 现代电力, 2023,40(5):706–714.

作者简介:

陆云鹏 (1987.10—), 男, 汉, 南京, 本科, 中级, 研究方向: 电力系统调度、电网调控。