

DOI: 10.7667/PSPC150673

分布式光伏电站区域智能调控系统的研究

王以笑¹, 崔丽艳², 雷振锋¹, 孔波利², 李现伟²

(1. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 针对分布式光伏电站中组串逆变器数量较多、布置分散给电站功率调节带来的问题, 提出了一种区域智能调控系统。采用分层控制的调节方式, 将光伏监控主站的功率调节任务按照一定的分配算法分配给多个区域智能调控单元, 各智能调控单元同时调节完成整个光伏电站的功率调节任务并实时上送至监控主站。该系统在减轻监控主站调节负担的同时可大大提高调节速度及调节精度, 具有广泛的工程应用价值。

关键词: 分布式光伏电站; 智能调控系统; 组串逆变器; 分层控制

Research on the regional intelligent regulating system of distributed PV station

WANG Yixiao¹, CUI Liyan², LEI Zhenfeng¹, KONG Boli², LI Xianwei²

(1. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

Abstract: To solve the problem of power condition in distributed PV station with numbers of serial and disperse arranged inverters, a regional intelligent regulating system is proposed. The new method assigns the adjustment command of PV monitoring main substation to different intelligent with an allocation algorithm by adopting hierarchical control regulation way, then all intelligent regulating units adjust at the same time to achieve the power regulation of the entire PV station and send the power to the master station. This system can reduce the burden of master station and improve the regulative speed and precision effectively, which has good practical value for distributed PV station.

Key words: distributed PV station; intelligent regulating system; string inverters; hierarchical control

0 引言

近年来, 中东部雾霾污染日益严重, 环境不堪重负, 大规模新能源发电是解决当前能源短缺、环境污染的重要举措之一。随着国家审批权下发和各项政策的出台, 分布式发电技术迎来了新一轮的快速发展期, 尤其是具有清洁环保、无污染、分布广泛、可再生等优点的光伏发电, 具有更广阔的市场空间^[1-5]。

分布式光伏发电大多以分散屋顶或建筑一体化为主, 基于布线的简便性和能源就地接入就地使用减小损耗的原则, 城市电网中光伏的接入将是分散而无序的, 分布式光伏的大量接入改变了原有的单电源结构, 单配电网变成多电源结构, 而且也给电网的调度工作带来很大的困难。

在 10 kV 及以上分布式光伏电站工程建设中通常要求电站具有功率调节功能。国内外各高校及电力企业也相继开展了对分布式光伏发电系统及其功

率调节方面的研究工作。文献[6]研究了不致引起馈线各点电压超出馈线首端电源电压的分布式电源的准入容量; 文献[7]研究了分布式光伏接入的情况下配电网自动化系统故障处理策略的适应性, 及超出适应范围情况下的应对措施; 文献[8]提出了光伏并网运行功率的直接控制方法, 实现光伏有功功率和无功功率的直接、统一控制, 以改善配电网供电质量。文献[9]提出了一种基于 DC-DC 变换器的功率调节控制器, 使用电压和电流反馈实现 MPPT 算法; 文献[10]提出了一种基于 UPS 的光伏并网功率调节系统, 不仅可实现光伏发电而且还具有并联型有源电力滤波器的功能。目前, 在分布式光伏发电对配电网影响方面的研究很多, 而对于分布式光伏电站的功率调节控制的具体研究还较少, 重点也在于光伏逆变器的控制策略优化方面, 未涉及在分布式光伏电站中功率控制系统的研究。为提高电网对分布式光伏发电的接纳能力, 降低分布式光伏发电对电网运行的负面影响, 能够自动接收调度系统的调节

指令, 研究分布式光伏电站的功率调节系统是非常必要的。

1 分布式光伏电站的建设模式

随着分布式光伏电站建设补贴模式的变化, 即由原来的电站建设补贴变为度电补贴, 用户则更加关注光伏电站的发电效率和发电量。

光伏电站的发电量主要取决于当地的太阳能资源和光伏发电的效率, 同时还受运行方式、电池表面清洁度、线路损耗等多种因素的影响, 而影响光伏发电效率的最大因素是光伏阵列效率, 即光伏阵列在 $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$ 太阳能辐射强度下, 实际的直流输出功率与标称功率之比。光伏阵列在能量转换过程中的损失包括: 组件的匹配损失、不可利用的太阳辐射损失、温度影响、最大功率点跟踪精度及直流线路损失以及树木或烟囱、云层等其他物体投射的阴影遮挡住光伏系统时导致系统造成“失配”问题而引起的遮蔽损失等。

组串逆变器(不大于 $60\ \text{kW}$)采用模块化设计, 在每个光伏组串并网逆变器的直流端可实现最大功率跟踪功能, 且不受组串间模块差异和遮影的影响,

同时减少了光伏组件最佳工作点与逆变器不匹配的情况, 大大提高了发电量; 另外组串逆变器还可解决不同朝向、不同倾角、不同区域引起的低效率问题, 也可解决最大化减小阵列失谐损耗对发电效率的影响; 同时采用组串逆变器时会省去汇流箱、直流柜, 减少了两个故障环节, 大大提高了系统的可靠性。因此, 在分布式光伏电站中采用组串逆变器进行分散逆变、集中并网的模式可大大提高发电效率和发电量。

但是, 采用组串逆变器进行分散逆变、集中并网的建设模式给分布式光伏电站的功率调节带来了一系列的问题。比如整站中组串逆变器的数量剧增、组串逆变器的布置比较分散使得功率调节控制策略更加复杂; 同时对逆变器进行数据采集和控制变得困难且可靠性差等。

2 分布式光伏电站区域智能调控系统

2.1 区域智能调控系统

为解决上述问题, 本文提出了一种适用于分布式光伏电站的区域智能调控系统, 其网络结构图如图 1 所示。

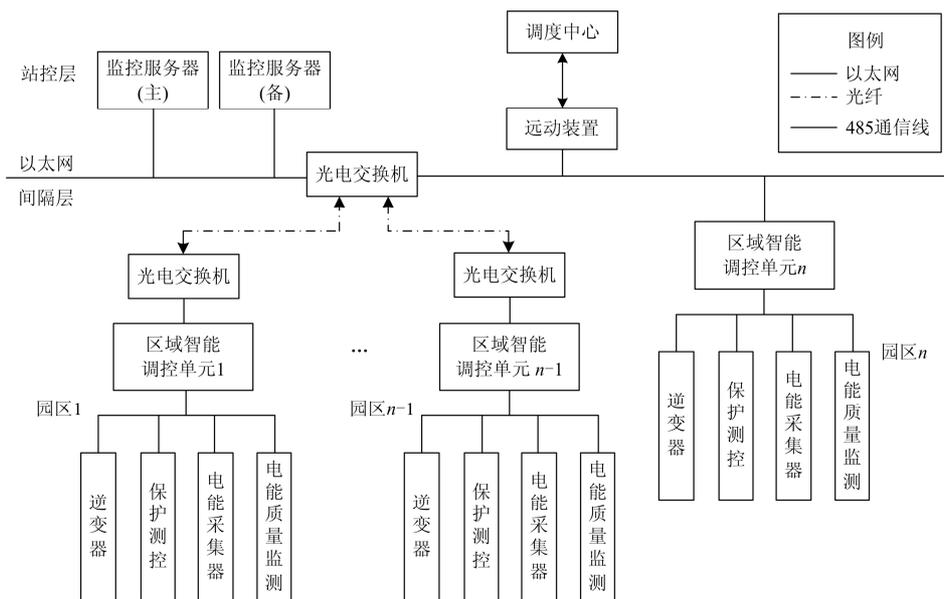


图 1 分布式光伏电站的网络结构图

Fig. 1 Network structure of the distributed photovoltaic station

区域智能调控系统支持远方控制和就地控制, 远方控制为调控系统按照调度中心下达的指令进行调节, 就地控制为调控系统不经过调度中心, 直接接收监控系统人工预置的本地控制指令。

在图 1 所示的网络结构图中, 光伏监控主站主要用于接收调度中心下发的功率调节指令后进行功

率分配计算, 并将计算结果下发给各对应的区域智能调控单元。

区域智能调控单元包括有数据采集与处理模块, 采集光伏电站就地组串逆变器、电度表、保护测控装置等设备的模拟量、开关量、电度量等数据并进行相应的处理(如滤波、精度校验、有效性检查

等); 规约转换模块, 对采集的就地设备的数据进行规约转换, 用于功率调节, 同时上送给光伏监控主站; 功率调节模块, 根据接收到的对应的功率调节指令对所负责区域内的组串逆变器进行功率调节, 对组串逆变器下发遥调、启停等命令, 共同完成整站的功率调节任务。区域智能调控单元主要在光伏监控主站与区域就地设备之间建立了桥梁, 起到“承上启下”的作用。

在分布式光伏电站中, 各园区的设备相对集中, 但每个园区之间的距离较远, 因此通过光纤进行通信, 各区域智能调控单元对就地设备的数据采集后通过光纤传输到站内的主交换机上, 光伏监控主站的调节指令也是通过光纤分配给各区域智能调控单元, 保证数据的高速可靠的传输。

2.2 智能功率调节策略

在区域智能调控系统中, 所采用的智能功率调节策略的框架图如图 2 所示, 其步骤如下。

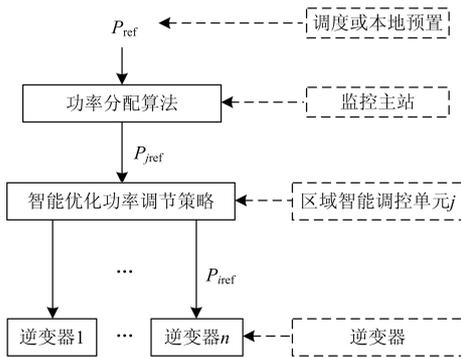


图 2 控制策略框架图

Fig. 2 Structure of the control strategy

1) 光伏监控主站接收调度中心下发的调度指令 P_{ref} 或在本地预置调节指令 P_{ref} 后, 根据当前的输出功率 P_{cur} 计算出整站待分配的有功调节指令 P_{Dref} 。

2) 光伏监控主站根据功率分配算法计算各区域智能调控单元的待分配有功调节指令, 功率分配计算采用可调容量比例分配算法, 根据实时计算的各个智能调控单元的可调容量, 按照最大可调容量大的区域分配有功功率多的原则进行功率调节指令的分配, 计算公式如式(1)。

$$P_{jref} = \frac{P_{mj}}{\sum P_{mar}} \cdot P_{Dref} \quad (1)$$

式中: P_{jref} 为第 j 个区域智能调控单元的待分配有功调节指令; P_{mj} 为第 j 个区域智能调控单元的有功功率可调节容量; $\sum P_{mar}$ 为整站内各区域调控单元

的有功功率可调节容量之和; P_{Dref} 为光伏电站待分配的有功调节指令。

3) 各智能调控单元根据智能优化功率调节策略将其调节指令 P_{jref} 分配给所负责区域内的组串逆变器并进行调节, 共同完成功率调节任务。

区域智能调控单元对各逆变器进行功率调节采用一种智能优化调节策略, 综合考虑环境及发电设备的最佳运行状况实现光伏电站的有序功率自动控制, 做到连续最优运行调节。智能调控单元接收监控主站下发的功率调节指令, 根据该区域内每个逆变器的当前出力、通信状态、运行状态(开机/关机)、最优工作区间(空载或满载时转换效率降低)、调节精度、1 min 有功变化率、10 min 有功变化率等因素, 按照合适的调节容量, 合理分配各逆变器的调节容量, 智能选择少量逆变器接受调节, 同时考虑逆变器调节速度的影响, 制定出优化的调节策略, 逆变器按预先制定的优化调节策略调节功率输出达到目标值。

其中, 智能优化功率调节策略的步骤如下。

a) 计算功率差额=指令 P_{jref} - 实际值 P_j , 若功率差额 \leq 调节精度, 则不需要调节, 否则转向步骤 b)。

b) 判断调节方向, 若上调则转向步骤 c), 否则转向步骤 d)。

c) 上调

i) 发电单元按上调能力降序排列, 将功率差额分配给该区域的各发电单元;

ii) 发电单元下的逆变器按上调倍数降序排列并将该分配给发电单元的功率差额分配给各逆变器;

iii) 发电单元的上调能力相等时, 调节次数较少的先调节;

iiii) 逆变器的上调倍数相等时, 调节次数较少的先调节。

d) 下调

i) 发电单元按下调能力降序排列, 将功率差额分配给该区域的各发电单元;

ii) 发电单元下的逆变器按下调倍数降序排列并将该分配给发电单元的功率差额分配给各逆变器;

iii) 发电单元的下调能力相等时, 调节次数较少的先调节;

iiii) 逆变器的下调倍数相等时, 调节次数较少的先调节。

其中, 逆变器的上调倍数= $\text{int}[\text{逆变器可上调最大幅度/调节步长}]$ 。

3 算例验证

在实验室搭建分布式光伏电站的模拟系统环境, 系统容量为 0.4 MW_p, 分为 3 个区域智能调控单元(RICU), 分别为 RICU1、RICU2、RICU3, 其容量分别为 0.1 MW_p、0.15 MW_p、0.15 MW_p, 分为 8 个发电单元, 每个发电单元的装机容量为 0.05 MW_p, 采用同规格的 10 kW 的组串逆变器, 厂区设备经过智能调控单元进行数据采集后, 接入许继 Solar-8100 光伏电站智能监控系统实现远程监控。

3.1 有功控制能力测试

测试时所有逆变器或部分逆变器正常运行(部分逆变器停机或通信异常), 不限制分布式光伏电站的有功功率变化速度。通过在光伏监控主站上预置有功计划曲线, 以每隔 5 min 设置分布式光伏电站的有功功率输出指令分别为: 40% P_n 、60% P_n 、80% P_n 、70% P_n 、50% P_n 、35% P_n (P_n 为 0.4 MW), 光伏电站的实际出力与计划曲线图如图 3 所示。

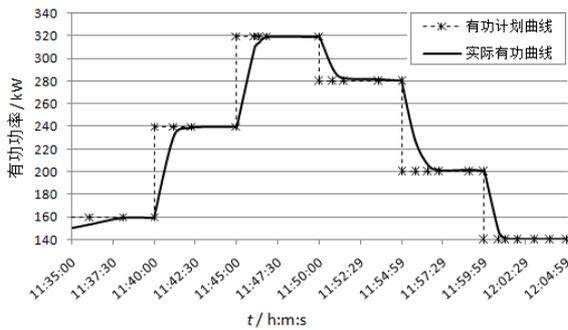


图 3 光伏电站实际有功出力与计划曲线

Fig. 3 Photovoltaic station active power output and generation scheduling curves

由图 3 可以看出: 光伏电站有功出力能够较好地跟踪计划曲线, 并达到较高的控制精度。由于在接收到计划指令后, 监控主站需要计算并分配各智能调控单元的调节指令, 另外下发命令至各逆变器、逆变器调节完成数据上送至监控主站都需要一定的时间, 因此每个 5 min 时间段的前期实际有功功率并未实时发生变化, 但每次调节完成的响应时间均不超过 2 min, 满足要求。

3.2 电压无功控制能力测试

测试时所有组串逆变器处于有功满发(1 p.u.)输出状态, 不限制光伏电站的无功功率变化速度, 通过在光伏监控主站上预置无功计划曲线, 以每隔 5 min 设置分布式光伏电站的无功功率输出指令分别为: 0、20、40、80、100、60、30、0、-30、-50、-70、-100(单位均为 kvar), 光伏电站的实际无功输

出与计划曲线图如图 4 所示。

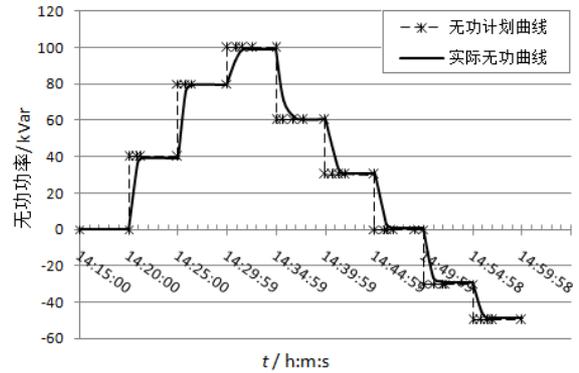


图 4 光伏电站实际无功出力与计划曲线

Fig. 4 Photovoltaic station reactive power output and generation scheduling curves

由图 4 可以看出, 无功输出可以很好地跟踪预置的计划调节指令, 能够实现较高的调节精度, 且调节时间均在 2 min 以内。

4 总结

目前, 分布式光伏电站中大多使用集中式逆变器, 基本是以 500 kW 为功率单元, 但随着电站建设补贴模式到为度电补贴模式的变化, 用户更加关注光伏电站的发电效率和发电量, 使用小功率的组串逆变器可大大提高分布式光伏电站的发电效率和发电量。本文提出了基于组串逆变器的分布式光伏电站区域智能调控系统, 将一定区域内的组串逆变器的调节任务分配给单个智能调控单元, 整个分布式光伏电站的功率调节由多个智能调控单元完成, 不但减轻了光伏监控主站的负担, 各个区域同时进行功率调节, 还大大提高了调节速度和调节精度, 智能调控单元主要在光伏监控主站与区域就地设备之间建立了桥梁, 起到“承上启下”的作用, 在分布式光伏电站中具有重要的工程应用价值。

参考文献

- [1] 王以笑, 张新昌, 路进升, 等. 基于 DIgSILENT 的并网光伏发电系统的建模与仿真[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(3): 49-54.
WANG Yixiao, ZHANG Xinchang, LU Jinsheng, et al. Modeling and simulation of grid-connected PV system based on DIgSILENT software[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(3): 49-54.
- [2] 王鹤, 胡志坚, 陈珍. 基于集合经验模态分解和小波神经网络的短期风功率组合预测[J]. 电工技术学报, 2013, 28(9): 137-144.
WANG He, HU Zhijian, CHEN Zhen. A hybrid model for

- wind power forecasting based on ensemble empirical model decomposition and wavelet neural networks[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(9): 137-144.
- [3] 茆美琴, 周松林, 苏建徽. 基于风光联合概率分布的微电网概率潮流预测[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 55-63.
MAO Meiqin, ZHOU Songlin, SU Jianhui. Probabilistic power flow forecasting of microgrid based on joint probability distribution about wind and irradiance[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 55-63.
- [4] 朱星阳, 张建华, 刘文霞. 风电并网引起电网电压波动的评价方法及应用[J]. 电工技术学报, 2013, 28(5): 88-98.
ZHU Xingyang, ZHANG Jianhua, LIU Wenxia. Evaluation methodology and its application of voltage fluctuation in power networks caused by interconnected wind power[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(5): 88-98.
- [5] 潘琪, 徐洋, 高卓. 含分布式光伏电站接入的配电网三级电压控制系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(20): 64-68.
PAN Qi, XU Yang, GAO Zhuo. Design of three level voltage control system in distribution network with the connection of many distributed photovoltaic power plants[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(20): 64-68.
- [6] 刘健, 同向前, 潘忠美, 等. 考虑过电压因素时分布式光伏电源的准入容量[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(6): 45-50.
LIU Jian, TONG Xiangqian, PAN Zhongmei, et al. The maximum power of distributed PV generation according to over-voltage in distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(6): 45-50.
- [7] 刘健, 林涛, 李龙, 等. 分布式光伏接入情况下配电自动化系统的适应性[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(20): 7-12.
LIU Jian, LIN Tao, LI Long, et al. Adaptability of distribution automation systems to photovoltaic installation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(20): 7-12.
- [8] 陈树勇, 鲍海, 吴春洋, 等. 分布式光伏发电并网功率直接控制方法[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(11): 6-11.
CHEN Shuyong, BAO Hai, WU Chunyang, et al. Direct grid-tie power control method for distributed photovoltaic generation[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(11): 6-11.
- [9] ORITI G, JULIAN A L. PV power conditioning system with LLC resonant converter in DCM[C] // Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2014: 4262-4268.
- [10] CHEN Xiaogao, FU Qing, WANG Donghai. Performance analysis of PV grid-connected power condition system with UPS[C] // Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2009. 4th IEEE Conference on, 2009: 2172-2176.

收稿日期: 2015-04-22; 修回日期: 2015-08-18

作者简介:

王以笑(1982-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事分布式发电和微电网技术。E-mail:ericwyx@126.com

(编辑 葛艳娜)