

DOI: 10.7500/AEPS20130609003

基于分布式控制的独立型光储水柴微网调度策略

薛美东^{1,2}, 赵 波², 张雪松², 高小淇³, 江全元¹

(1. 浙江大学电气工程学院, 浙江省杭州市 310027; 2. 国网浙江省电力公司电力科学研究院, 浙江省杭州市 310014;
3. 中国国电龙源电力集团股份有限公司, 北京市 100034)

摘要: 基于分布式微网能量管理框架, 提出一种光储水柴微网经济调度策略, 包括预测层、调度层和控制层。预测层提供能量管理相关决策数据; 调度层采用边际成本竞价机制, 通过光伏和水电价补偿策略, 合理分配光水资源, 减少柴油发电机的发电比例; 控制层包括稳态控制和紧急控制, 其中稳态控制策略用于控制本地设备跟踪调度计划运行, 而紧急控制策略用于对系统可用发电容量进行分配, 以维持系统功率平衡。以实际光储水柴微网为例, 对比实际运行数据, 所提出的调度策略在充分利用光水资源的基础上, 保证了系统稳定运行。

关键词: 微网(微电网); 分布式控制; 光储水柴系统; 能量管理; 经济调度; 光伏发电; 小水电

0 引言

对于偏远的内陆地区, 电网延伸费用昂贵, 以小水电为主、柴油发电机为辅的供电模式曾经是最佳的解决方案^[1]。但是随着负荷增长, 水资源开发达到上限, 而柴油发电的燃料费用不断上涨, 导致长时间运行的经济性差且污染严重。由于光伏资源丰富且无污染, 使光伏发电逐渐取代柴油发电机形成光储水柴系统。作为独立型微网的一种形式, 光储水柴系统在节能降耗、减少污染、延缓输配电网建设投资等多个方面具有显著的经济效益和社会效益^[2]。

目前针对独立型光储水柴微网系统的控制和调度研究较少。微网的协调控制和经济调度研究大多集中在风力发电、光伏发电、储能系统和柴油发电机等的配合上^[3-5], 未考虑小水电的应用。然而, 水电具备良好的调节性能, 在大电网运行中可用于调峰以降低发电成本^[6]。文献[7-8]考虑了风水协调配合, 有助于平抑功率波动、提高经济性和可再生能源消纳能力。光伏发电和风力发电具有相似性, 通过小水电的协调配合可以提高光伏渗透率并降低发电成本。文献[9]利用抽水蓄能平抑光伏发电功率波动, 但抽水蓄能受地理环境等因素影响, 应用范围有限。

本文基于分布式微网能量管理框架, 提出一种

光储水柴微网经济调度策略。通过竞价机制制定系统的发电计划和备用功率计划, 设备根据本地运行策略跟踪发电计划运行, 再由系统通过备用功率分配维持系统功率平衡。

1 微网能量管理系统

从实现方式上, 微网能量管理分为分布式控制和集中式控制^[10]。由于微网的结构和功能特性, 分布式控制系统有其特有的优势: ①“即插即用”的特性有利于微网元件的接入和运行; ②模块化和高可扩展性有利于实现多样化的微网结构; ③独立控制有利于微网元件根据实际情况和控制目标作出正确决策, 提高系统可靠性并实现客户多样化需求^[11-12]。

1.1 基于分布式控制的微网能量管理系统

基于分布式控制的微网能量管理系统结构如图 1 所示, 包括预测层、调度层(ED)和控制层。预测层提供能量管理相关决策数据。调度层从系统角度, 根据预测数据和设备信息, 制定微网长时间的运行计划和备用功率计划。控制层由紧急控制和稳态控制组成, 本地控制器(LC)根据自身的控制目标和运行策略控制设备运行; 微网中央控制器(MGCC)实时监控微网系统的运行状态, 根据紧急控制策略以及备用功率计划, 调整备用电源输出功率以平衡系统功率。

1.2 研究对象

本文以实际工程为背景, 开展独立型光储水柴微网系统的调度和控制策略的研究。该系统由小水电、柴油发电机、光伏发电、储能设备、负荷等组成, 系统独立运行, 不与大电网相连, 如图 2 所示。

收稿日期: 2013-06-09; 修回日期: 2013-10-11。

国家自然科学基金资助项目(51207140); 国家电网公司科技项目“间歇式可再生能源海岛电网运行技术研究及工程示范”。

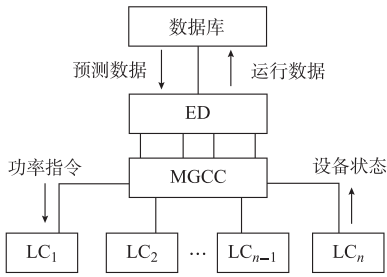


图1 基于分布式控制的微网能量管理系统结构
Fig.1 Structure of microgrid energy management system based on distributed control

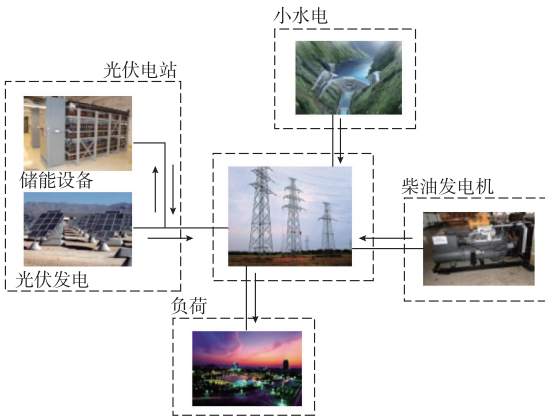


图2 光储水柴微网结构示意图
Fig.2 Schematic diagram of photovoltaic-battery-hydro-diesel microgrid

小水电具有年调节水库,作为系统主电源进行一次调频。柴油发电机作为备用电源,在负荷高峰时段发电,以保证系统稳定运行,但随着系统负荷的增加,小水电已经不能满足负荷需求。为了减少柴油发电机运行时间以及开发利用可再生能源,新建大容量光伏电站,并在电站内部配备一定容量的蓄电池储能设备。根据目前储能技术的发展现状,储能设备成本高、寿命短,因此,在系统中配置的蓄电池储能设备容量相对较小,其作用有限,只用于平抑短时的光伏发电功率波动,并尽可能地将转移日间光伏发电过剩电能。系统功率平衡主要依靠小水电调节。

2 独立型光储水柴微网调度策略

2.1 基本运行原则

由于光资源不可存储且水资源有限,光伏发电和小水电只能在有限时间或有限范围内进行功率调节,因此,系统运行应遵循以下4点原则。

1) 优先使用光伏发电,在日间光资源充足的情况下充分利用光伏发电,并尽可能将过剩电能储存在储能设备中,以参与夜间调峰,减小弃光率。

2) 储能设备作为光伏电站的一部分,可提高光伏电站的功率调节能力,并与光伏发电相互协调配合,执行系统调度指令;但由于储能容量有限,因此只应用于平抑短时光伏发电功率波动,并尽可能转移过剩电能以参与夜间调峰。

3) 合理使用小水电,年调度中协调丰/枯水期的用水量,在丰水期尽可能不弃水或者少弃水,在枯水期具备足够的存水量,保证小水电的系统功率调节能力;日调度中,在充分利用居民用水发电的基础上,当光资源充足时降低水电功率,节约水资源,用于夜间发电。

4) 降低柴油发电机出力 and 运行时间,只在负荷高峰时段和负荷高峰季节使用。

2.2 经济调度策略

根据预测数据和设备信息,通过竞价机制和发电设备的成本曲线,安排下一时段的运行计划和备用功率计划。本文研究的独立型光储水柴微网中,可控电源包括光伏电站、小水电和柴油发电机,其中光伏电站由光伏发电和储能设备组成,日间依靠光伏发电、夜间根据储能荷电状态(SOC)情况参与调峰。

光伏电站的发电费用 C_V 如式(1)所示。日间费用由运行维护费用和电价补偿组成,通过电价补偿策略提高光伏发电利用率如式(2)所示。夜间费用是储能设备的折旧成本,考虑储能设备需要在日间充电,因此夜间费用是折旧成本的2倍。

$$C_V = \begin{cases} C_{MV} + C_{OV} P_V - C_{CV} P_V & \text{日间} \\ 2C_{BV} P_V & \text{夜间} \end{cases} \quad (1)$$

$$C_{CV} = \frac{P_{NV} - P_V}{P_{NV}} \lambda \quad (2)$$

式中: C_{MV} 为光伏发电维护成本; C_{OV} 为光伏发电单位运行成本; C_{CV} 为光伏发电单位电价补偿; C_{BV} 为储能单位折旧成本; P_V 为光伏电站功率; P_{NV} 为光伏发电额定功率; λ 为光伏发电电价补偿因子。

小水电费用 C_H 如式(3)所示,由运行维护费用和电价补偿组成。小水电电价采用负补偿(见式(4)),当需要消耗水库水资源时,水电电价将随水资源消耗而增加。

$$C_H = \begin{cases} C_{MH} + C_{OH} P_H & P_H \leq P_{Hmin} \\ C_{MH} + C_{OH} P_H + C_{CH} P_H & P_H > P_{Hmin} \end{cases} \quad (3)$$

$$C_{CH} = \xi P_H \quad (4)$$

式中: C_{MH} 为小水电维护成本; C_{OH} 为小水电单位运行成本; C_{CH} 为小水电单位电价补偿; P_H 为小水电发电功率; P_{Hmin} 为小水电经济发电功率,即利用居民用水、泄洪水量等非电力调度水量进行发电; ξ 为水电电价补偿因子。

柴油发电机费用 C_D 由燃料和污染惩罚费用组成,燃料费用通常表示为柴油发电机输出功率的二次函数,即

$$C_D = C_2 P_D^2 + C_1 P_D + C_0 + \rho P_D \quad (5)$$

式中: C_0, C_1, C_2 为燃料费用系数; P_D 为柴油发电机输出功率; ρ 为污染惩罚因子。

光伏发电和小水电电价补偿、柴油发电机污染惩罚是竞价机制中的调节策略,在实际成本结算中不予考虑。

根据发电设备的运行费用计算相应的边际费用(MC)曲线,边际费用低的设备优先发电。当发电功率等于负荷 ($\sum_{i=1}^m P_i = P_L$) 时,得到最优发电电价 p_o ,即系统功率平衡时的边际成本 MC_m ,以及系统运行计划如图 3(a) 所示。由于负荷和光伏发电的预测误差,使得实际负荷需求与运行计划不一致,或者实际光伏发电功率达不到计划值。为了弥补系统不平衡功率,考虑系统经济性备用和可靠性备用。光伏发电具有规律性,多数情况下预测误差分布在较小的区间 $[0, R_{eco}]$ 内,因此这个区间内的功率波动概率较大,对运行计划及其成本影响较大,定义为经济性备用;同时由于云雾遮挡,短时间内光伏发电可能出现大功率跌落 $[R_{eco}, R_{rel}]$,影响系统稳定运行,定义为可靠性备用。考虑经济性备用

($\sum_{i=1}^r P_i = P_L + R_{eco}$) 后,得到系统备用功率电价 p_r ,即满足负荷和备用功率时的边际成本 MC_r ,以及系统备用功率计划。备用功率竞价过程中只考虑小水电和柴油发电机,如图 3(b) 所示。

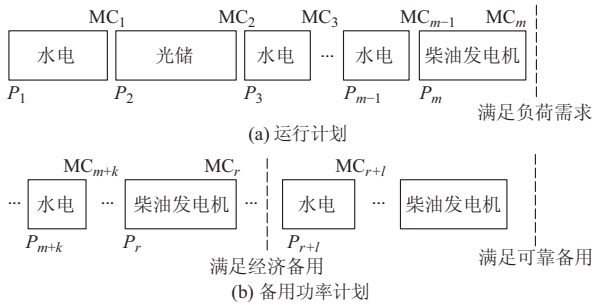


图 3 竞价示意图

Fig.3 Schematic diagram of bidding

考虑到光伏发电功率波动较大,不仅增加了备用功率成本,而且会影响系统运行的稳定性和可靠性,因此如图 4 所示,可以从以下方面优化微网运行计划:①系统必须满足可靠性备用,否则将减小运行计划中的光伏发电功率重新竞价;②如果备用功率电价 p_r 与最优发电电价 p_o 偏差过大,就可能由于

预测误差导致实际电价与 p_o 相差较大,需减小运行计划中的光伏发电功率重新竞价;③如果调整后发电电价与初始发电电价 p_{oint} ,即最低发电电价偏差过大,为避免过度调整导致发电成本增长过多,应选择调整过程中的最优方案。图中: ϵ_1 和 ϵ_2 为电价偏差阈值。

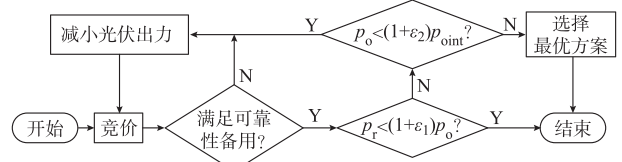


图 4 竞价机制流程

Fig.4 Flow chart of bidding mechanism

2.3 稳态控制策略

本地控制器根据稳态控制策略和实际运行情况,控制设备跟踪经济调度下达的运行计划。光伏电站、小水电和柴油发电机分别作为独立单元,接收调度层功率调度指令并执行。

小水电和柴油发电机是可控电源,根据备用功率计划安排机组的启停状态,根据运行计划进行机组的出力分配。

光伏发电具有随机性和波动性,通过内置储能设备平抑功率波动,跟踪运行计划运行,其控制策略如图 5 所示,图中 Level1 到 Level4 的调节优先级依次递增。

1) 根据光伏发电预测功率确定充放电状态和功率 $P_{bat,t}$ 。如果光伏发电功率过剩,则储能设备充电,其中 P_{csta} 和 P_{cste} 分别为起始充电功率和恒定充电功率;如果光伏发电功率不足,则储能设备减小充电功率或者放电。

2) 检查储能设备的 SOC,如果超过 SOC 正常的运行限制 $[SOC_{omin}, SOC_{omax}]$,则储能设备进入待机状态。

3) 检查光伏电站出口功率是否满足运行计划要求,如果超出功率偏差要求 ϵ ,则储能设备进行功率补偿。

4) 检查储能设备是否过充过放,即超出技术限制 $[SOC_{tmin}, SOC_{tmax}]$,如果过充过放,则储能设备将退出运行。

考虑系统稳定性,储能设备优先根据调度指令平抑功率波动,然后吸收光伏发电过剩功率。

2.4 紧急控制策略

由于本地控制器独立控制,因此系统运行状况与运行计划存在偏差,需通过紧急控制策略实时分配不平衡功率(见式(6)),并对备用电源下达功率指令。

$$P_{MCE} = \sum k_i \Delta f + \Delta P \quad (6)$$

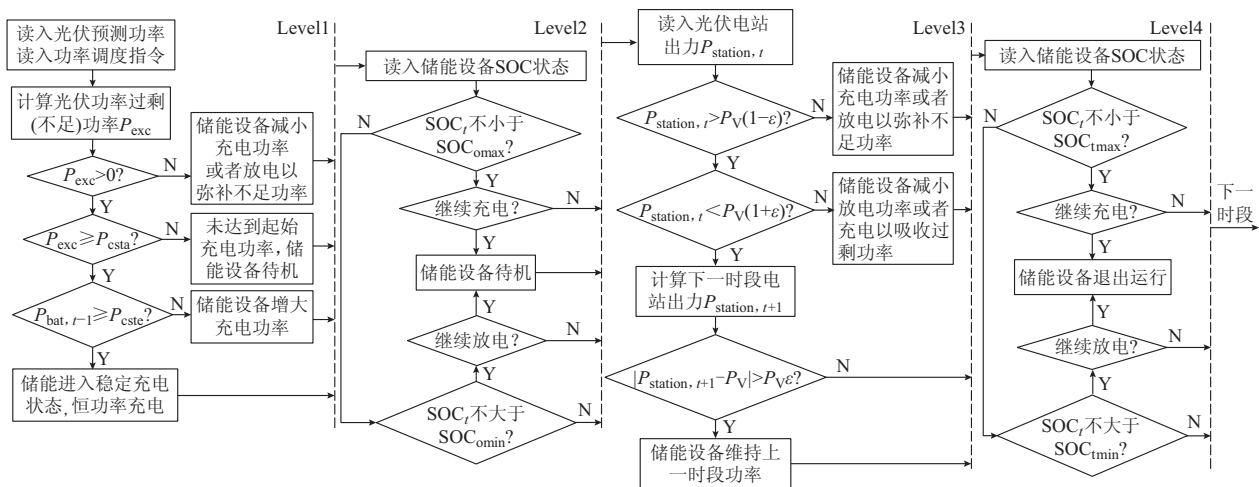


图5 光储协调控制策略
Fig.5 Coordinated control strategy of photovoltaic and storage system

式中: P_{MCE} 为稳态控制误差功率; ΔP 为当前系统不平衡功率; $\sum k_i \Delta f$ 为调频设备的调频功率。

系统功率不足 ($P_{MCE} > 0$) 时: 若备用功率充足则根据备用计划调节; 否则, 当系统可用功率充足时, 根据边际价格分配不平衡功率, 当系统可用功率不足时, 紧急切负荷。

系统功率过剩 ($P_{MCE} < 0$) 时, 则按照柴油发电机、小水电、光伏发电的顺序减小出力, 但作为系统备用电源, 要保证柴油发电机和小水电最小出力。

3 算例分析

本文研究的系统由小水电、柴油发电和光伏电站组成, 小水电包含 4 台 1 600 kW 水力发电机, 柴油发电包含 4 台 1 000 kW 柴油发电机, 光伏电站包含 5 MW 光伏发电和 5 MW · h 蓄电池储能。

2011 年该地区的负荷数据、水流量数据以及太阳辐照度数据如图 6 所示。系统年用电量为 23.6 GW · h, 最大负荷为 5 250 kW。秋冬季 (7 月至次年 1 月) 是丰水期, 同时也是用电高峰; 而春夏季 (2 月至 6 月) 是枯水期, 负荷水平相对较低, 因此, 系统全年运行在两种典型运行条件下。图 7 所示为秋冬季和春夏季的典型日负荷和辐照度曲线。

3.1 年运行仿真

根据该地区历史数据对系统进行仿真, 得到表 1 所示的运行数据。小水电满足系统 64.8% 的负荷需求, 也是主要的备用电源。柴油发电机发电量只占 7.6%, 运行时间仅 1 395 h。光伏电站发电量占 27.6%。系统的单位发电成本为 1.08 元/(kW · h)。

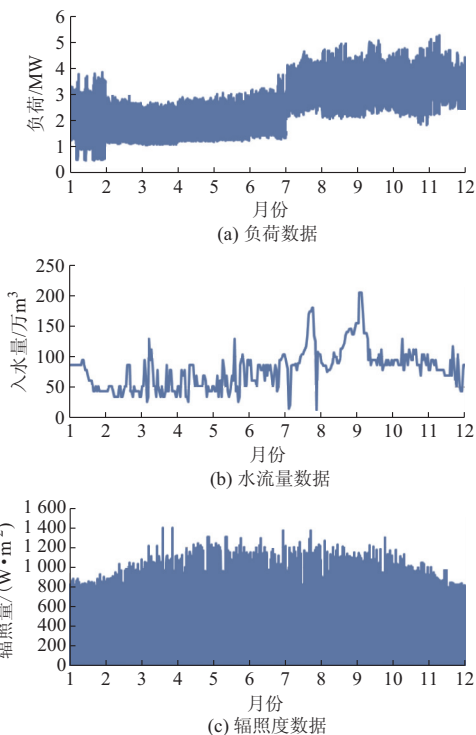


图6 光储水柴微网历史数据(2011年)
Fig.6 Historical data of photovoltaic-battery-hydro-diesel microgrid in 2011

该系统在 2011 年实际运行中, 小水电发电量占 63.9%, 柴油发电机发电量占 36.1%, 柴油发电机运行时间为 6 931 h, 单位发电成本为 1.35 元/(kW · h)。

可见, 采用光伏发电明显减少了柴油发电机的发电量和运行时间, 起到了节能减排的作用。同时, 单位发电成本也下降了 20%。

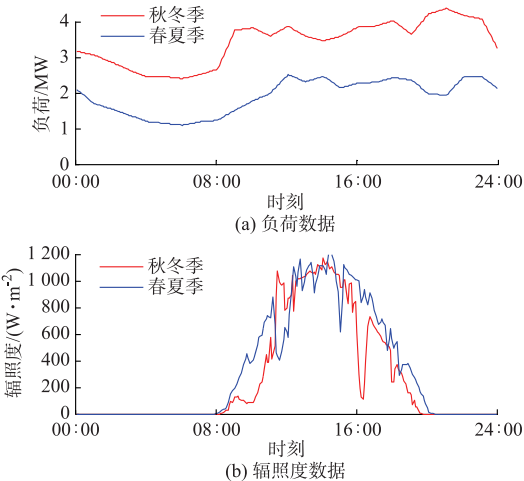


图 7 秋冬季和春夏季的典型日数据
Fig.7 Data of a typical day in different seasons

表 1 光储水柴微网年运行数据
Table 1 Operation data of photovoltaic-battery-hydro-diesel microgrid

分布式电源	发电量/ (kW · h)	发电量比 例/%	运行时间/h	最大功 率/kW	备用容量/ (kW · h)	备用比 例/%	最大备用 容量/kW	单位成本/ (元 · (kW · h) ⁻¹)
小水电	15 289 666	64.8	8 760	3 012	1 510 603	82.4	583	0.69
柴油发电机	1 787 184	7.6	1 395	2 486	323 137	17.6	407	2.28
光伏电站	6 522 879	27.6	3 987	3 518				1.66

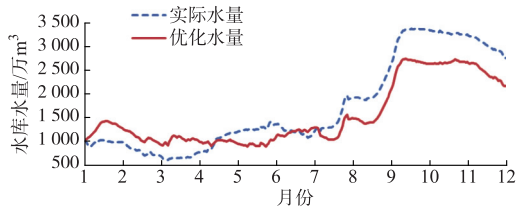


图 8 水库存水量
Fig.8 Level of reservoir

3.2 秋冬季典型日仿真

秋冬季用电量,水库存水量充足。图 9 所示为日发电计划曲线,小水电承担系统基础负荷;光伏发电设备日间大量发电,夜间负荷高峰时依靠储能设备进行功率支撑;由于负荷较重,柴油发电机在负荷水平较高时短时发电。

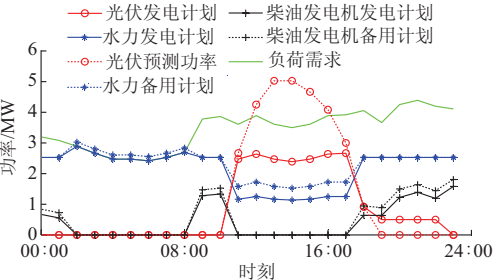


图 9 秋冬季日发电计划
Fig.9 Daily dispatch schedule in autumn and winter seasons

由于小水电、柴油发电机发电和光伏发电的单位发电成本相差较大,单纯依靠边际成本或者平均成本进行经济调度,将导致小水电过度发电以及大量弃光的现象。引入电价补偿机制后,小水电发电量与系统实际发电量相近。图 8 所示为该系统 2011 年实际水库存水量和通过电价补偿机制优化后的存水量对比图。可见,优化后存水量在旱季(2 月至 6 月)更加平缓,雨季(9 月至 12 月)则多利用水力发电。

由于日间光伏发电功率大于负荷需求,小水电需维持基础发电功率以满足居民用水需求,而储能设备容量有限,只能转移部分过剩电量,因而存在一定的弃光现象。根据仿真计算,系统年光伏发电利用率为 67.6%。

系统运行计划是根据预测数据制定的,与光伏发电实际功率存在误差。如图 10 所示,光伏发电功率过剩时,光伏电站依靠光伏发电跟踪调度指令,将过剩电量存储在储能设备中,所存储的电量除用于弥补光伏发电功率不足外,全部在夜间负荷高峰时段进行功率支撑,以减少柴油发电机发电量。光伏发电和储能设备作为整体跟踪日发电计划,保证了光伏电站出口功率稳定。

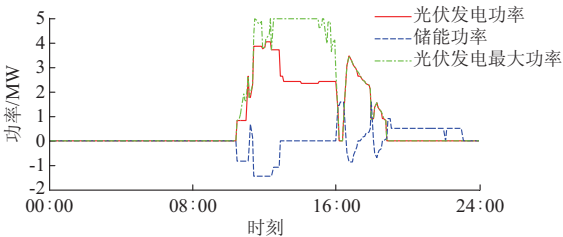


图 10 秋冬季光伏电站运行情况
Fig.10 Operation of photovoltaic station in autumn and winter seasons

小水电根据备用功率安排机组启停,4 台水力发电机以日为单位,交替发电;再根据发电计划在机组间进行功率分配。图 11 中,最多时有 2 台水力发电机跟踪发电计划,日间由于光伏发电大量发电,只有 1 台水力发电机运行。作为备用电源,在光伏发电功率波动较大时,小水电偏离调度指令,平衡系统功率。

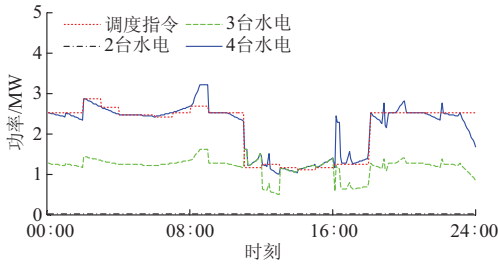


图 11 秋冬季小水电运行情况

Fig.11 Operation of small-hydro in autumn and winter seasons

如图 11 所示,16:00 时刻光伏发电功率跌落,由于储能容量有限,小水电可弥补不足功率。

3.3 春夏季典型日仿真

春夏季用电量相对较小,依靠小水电和光伏发电满足负荷需求,不需要柴油发电机运行。图 12 所示为日发电计划曲线,00:00—9:00 时段负荷较低,小水电跟踪负荷变化;10:00—19:00 时段负荷增大,光伏发电大量发电;20:00—24:00 时段,光伏电站依靠储能放电,进行夜间调峰。

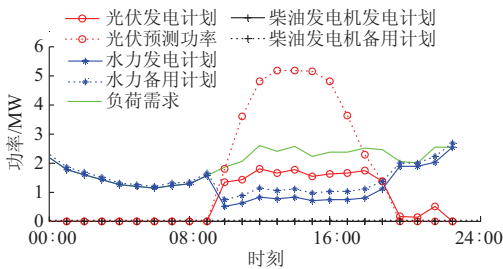


图 12 春夏季日发电计划

Fig.12 Daily dispatch schedule in spring and summer seasons

由于负荷水平较低,光伏发电过剩。虽然存在预测误差,但光伏发电具备足够的功率调节能力。因此,光伏电站中光伏发电跟踪日发电计划运行;储能设备受容量限制,日间短暂充电,夜间参与调峰,如图 13 所示。

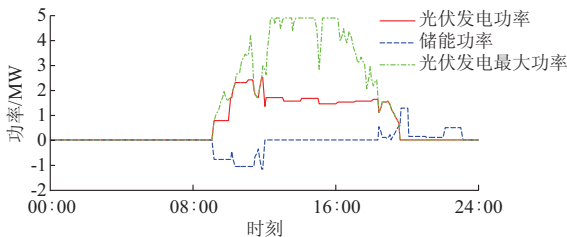


图 13 春夏季光伏电站运行情况

Fig.13 Operation of photovoltaic station in spring and summer seasons

如图 14 所示,由于春夏季负荷水平低,光伏发电能够满足负荷需求,因此小水电的计划出力低,大部分时间只有 1 台水力发电机运行。

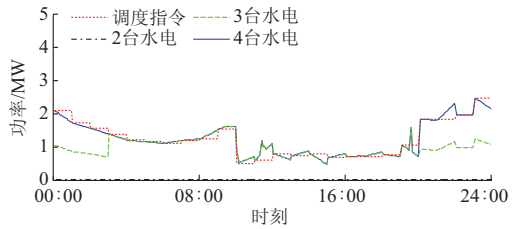


图 14 春夏季小水电运行情况

Fig.14 Operation of small-hydro in spring and summer seasons

4 结语

本文提出一种基于分布式控制的光储水柴微网调度策略,对系统进行分层控制。经济调度层采用边际成本竞价机制结合水电和光伏补偿策略,分配光水资源。稳态控制层中,设备根据本地运行策略跟踪发电计划运行,提出一套光储协调策略,利用储能设备平抑短时光伏发电功率波动并参与夜间调峰。紧急控制层通过备用功率分配、可用功率调整、切负荷等手段维持系统功率平衡,保证系统稳定运行。

实际系统的仿真结果表明,日间充分利用光伏发电,节约水资源用于夜晚负荷高峰,提高了光伏发电利用率;合理分配水资源,使得丰、枯水季都具备足够的水量,减少了柴油发电机的运行时间和发电量。随着本文研究的微网系统投入运行,结合实际的工程经验和数据,将对本文提出的调度策略进行更深入的研究。

参考文献

- [1] KUSAKANA K, MUNDA J, JIMOH A. Feasibility study of a hybrid PV-micro hydro system for rural electrification[C]// IEEE AFRICON, September 23-25, 2009, Nairobi, Kenya: 5p.
- [2] 梁惠施,程林,苏剑.微网的成本效益分析[J].中国电机工程学报,2011,31(增刊1):38-44.
LIANG Huishi, CHENG Lin, SU Jian. Cost benefit analysis for microgrid [J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(Supplement 1): 38-44.
- [3] 郭力,富晓鹏,李霞林,等.独立交流微网中电池储能与柴油发电机的协调控制[J].中国电机工程学报,2012,32(25):70-78.
GUO Li, FU Xiaopeng, LI Xialin, et al. Coordinated control of battery storage and diesel generators in isolated AC microgrid systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(25): 70-78.
- [4] 刘小平,丁明,张颖媛,等.微网系统的动态经济调度[J].中国电机工程学报,2011,31(31):77-84.

- LIU Xiaoping, DING Ming, ZHANG Yingyuan, et al. Dynamic economic dispatch for microgrids[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(31): 77-84.
- [5] 金鹏,艾欣,许佳佳.基于序列运算理论的孤立微电网经济运行模型[J].中国电机工程学报,2012,32(25):52-59.
- JIN Peng, AI Xin, XU Jiajia. An economic operation model for isolated microgrid based on sequence operation theory [J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(25): 52-59.
- [6] 丁军威,胡旻,夏清,等.竞价上网中的水电优化运行[J].电力系统自动化,2002,26(3):19-23.
- DING Junwei, HU Yang, XIA Qing, et al. Hydro power optimization in competition with thermal generation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(3): 19-23.
- [7] 静铁岩,吕泉,郭琳,等.水电-风电系统日间联合调峰运行策略[J].电力系统自动化,2011,35(22):97-104.
- JING Tieshan, LÜ Quan, GUO Lin, et al. An inter-day combined operation strategy of hydro and wind power system for regulating peak load[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(22): 97-104.
- [8] 黄春雷,丁杰,田国良,等.大规模消纳风电的常规水电运行方式[J].电力系统自动化,2011,35(23):35-40.
- HUANG Chunlei, DING Jie, TIAN Guoliang, et al. Hydropower operation mode of large-scale wind power grid integrated[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(23): 35-40.
- [9] RYOTA A, AKIHIKO Y, FUMITOSHI N, et al. Optimal operation scheduling of pumped storage hydro power plant in power system with a large penetration of photovoltaic generation using genetic algorithm[C]// IEEE PowerTech, June 19-23, 2011, Trondheim, Norway: 8p.
- [10] DANIEL O, CLAUDIO C, MEHRDAD K. A centralized optimal energy management system for microgrids[C]// IEEE Power and Energy Society General Meeting, July 24-29, San Diego, CA, USA: 6p.
- [11] ARIS D, NIKOS H. Operation of a multiagent system for microgrid control[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(3): 1447-1455.
- [12] JOSEBA J, JON A, JOSE O, et al. Architecture of a microgrid energy management system [J]. European Transactions on Electrical Power, 2011, 21(2): 1142-1458.
-
- 薛美东(1987—),男,通信作者,博士研究生,主要研究方向:微电网能量管理与控制。E-mail: xuemd2006@163.com
- 赵 波(1977—),男,博士,主要研究方向:分布式电源及微网关键技术。E-mail: zhaobozju@163.com
- 张雪松(1979—),男,博士,主要研究方向:分布式电源与微电网、储能及保护自动化。E-mail: ee_zxs@163.com
- (编辑 章黎)

Economic Dispatch of Stand-alone Photovoltaic-Battery-Hydro-Diesel Hybrid Microgrid Based on Distributed Control

XUE Meidong^{1,2}, ZHAO Bo², ZHANG Xuesong², GAO Xiaoqi³, JIANG Quanyuan¹

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Electric Power Research Institute of State Grid Zhejiang Electric Power Corporation, Hangzhou 310014, China;

3. Longyuan Power Group Corporation Limited, Beijing 100034, China)

Abstract: A novel energy management system of microgrid based on distributed control is presented, consisting of prediction layer, dispatch layer and control layer. By applying to photovoltaic-battery-hydro-diesel hybrid microgrid system, the concept of dispatch strategies is described in detail. Considering the specialty of photovoltaic and water resources, a proper schedule is given by dispatch layer based on bidding model. Then at the control layer, the components follow the dispatch schedule according to its own operation strategy. The power balance is guaranteed by reserve power allocation at the system level. A real photovoltaic-battery-hydro-diesel hybrid microgrid system is studied as an example. Simulation results demonstrate the performance of the proposed strategies on the dispatch of photovoltaic and water resources compared with practical operating data.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51207140) and State Grid Corporation of China.

Key words: microgrid; distributed control; photovoltaic-battery-hydro-diesel hybrid microgrid; energy management; economic dispatch; photovoltaic generation; small hydropower