

多通信方式联合组网下的海岛微电网控制方法

孙大松¹, 郁正纲², 伏祥运², 冯鑫振³, 汤奕¹

(1. 东南大学电气工程学院, 江苏 南京 210096; 2. 国网连云港供电公司, 江苏 连云港 222002; 3. 中国电力科学研究院江苏省储能变流及应用工程技术中心, 江苏 南京 210003)

摘要: 由于偏远海岛环境恶劣、通信条件差, 海岛微电网存在运行可靠性低、维护困难等问题。文中首先分析了海岛微电网监控系统的架构与功能要求, 基于微电网控制的多时间尺度特征, 结合偏远海岛的地理条件, 确定采用混合通信方式能比较经济地满足微电网监控系统的通信需求, 并基于通信的特点提出微电网的预防控制和紧急控制方法。在微电网正常运行时, 根据监测的气象环境信息, 预测分布式电源与负荷功率, 制定微电网能量调度策略, 对微电网实施预防控制; 在微电网出现故障处于紧急状态时, 根据监测的扰动大小及负荷功率信息, 实施紧急控制。最后以某微电网为例, 验证所提基于多通信方式的微电网预防控制与紧急控制方法的有效性。

关键词: 海岛微电网; 多通信方式; 预防控制; 紧急控制; 监控系统

中图分类号: TM721

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2019)02-0010-08

0 引言

长期以来, 我国海岛发展受到传统电力能源供应的严重制约^[1]。考虑到海岛及其周围拥有丰富的可再生能源^[2], 构建高效清洁的海岛能源体系, 发展海岛微电网, 可以有效解决海岛发展中面临的能源问题, 满足岛上居民的生活和生产需求^[2-4]。

由于太阳能、风能的随机性与波动性, 孤岛型微电网承受扰动的能力相对较弱, 需要借助微电网监控系统并采用合适的控制方法对微电网内各分布式电源(distributed generation, DG)、储能设备、各类负荷进行调度管理, 以保证微电网安全、稳定、经济地运行^[5-6]。根据微电网的典型结构与典型示范工程, 国内外学术界针对微电网的控制、能量的优化调度等进行了大量研究^[7-10]。文献[11-13]考虑到微电网内新能源发电的随机性, 建立多时间尺度能量优化调度模型, 利用微电源、储能、负荷的协调配合, 降低风、光出力的波动对系统安全稳定运行的影响。文献[14]提出了微电网紧急情况下基于超级电容器功率监测和基于微电网频率变化率的孤岛微电网紧急切负荷控制策略。文献[15]提出利用直流母线电压变化量作为系统模式的切换基准, 在不同模式中调节变流器的工作方式, 维持直流母线电压稳定的控制方法。

微电网系统具备完整的通信网络是微电网监控系统实现以上控制与调度策略的基础。文献[16]分析了海岛微电网监控系统对通信网络的需求,

提出采用专用光纤通信网络实现微电网的运行控制。这种通信架构与方案稳定高效, 适用于近海海岛微电网监控系统, 但对于远离大陆的小型海岛经济性较差, 尤其对于偏远小型海岛微电网与远方调度之间的通信, 架设海底专用光纤并不现实。随着信息通信技术的发展, 多种新型通信方式的出现给海岛微电网监控系统的通信提供了更多选择, 为海岛微电网的运行控制提供了良好的技术基础。

文中首先分析了微电网通信需求, 按照时间尺度将微电网的控制分为预防控制和紧急控制, 基于预防、紧急控制的通信要求, 并结合偏远海岛的地理条件, 提出采用多种通信联合组网的方式以满足海岛微电网通信网络建设的经济性与可行性。在此基础上, 提出海岛微电网预防和紧急控制方法。预防控制是根据预测的 DG 与负荷功率, 滚动优化制定微电网日前和日内能量调度策略, 逐级缓解风电、光伏与负荷功率不确定性引起的功率不平衡问题; 紧急控制是通过实时监测的电气量信息, 当微电网发生故障或 DG、负荷的功率出现较大波动导致功率无法平衡时, 及时控制各 DG 和储能的功率, 必要时进行负荷控制, 以维持微电网的频率稳定。

1 海岛微电网的通信需求与选择

海岛微电网监控系统协调本地保护控制与控制中心, 通过采集电源点、线路、负荷、环境等信息, 形成对整个微电网的监控, 根据微电网运行约束, 调整微电网的运行。微电网监控系统的正常工作依托于高效合理的通信网络, 而通信方案的设计必须考虑偏远海岛的环境与条件。因此, 综合协调微

收稿日期: 2018-11-27; 修回日期: 2018-12-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51577030)

电网的控制方法与通信方案,使得通信方案的设计具备经济性与可行性,同时能满足微电网的通信需求,微电网的控制方法必须适应通信方案,保证微电网的协调控制与优化调度。各部分的相互影响关系如图 1 所示。

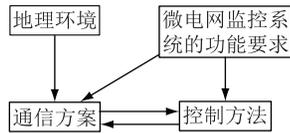


图 1 微电网监控系统功能和通信方案与控制方法相互影响示意图

Fig.1 Schematic diagram of interaction between microgrid monitoring system functions, communication schemes and control methods

1.1 海岛微电网监控系统的架构与功能

按照微电网监控系统的物理层级,将监控系统分为 3 层架构^[17],如图 2 所示。第一层为设备层,主要为各种保护、控制与监测装置,负责监测微电网环境与运行信息,同时接收来自控制中心的命令,控制电源、储能与负荷的运行。第二层为网络层,负责监控系统管理层与设备层间的信息传输。第三层为管理层,即微电网控制中心,管理层处理分析微电网监测信息,形成微电网运行控制命令,经网络层通信传输下发到设备层。

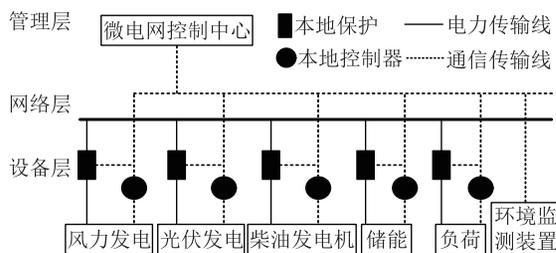


图 2 微电网监控系统架构

Fig.2 The architecture of the microgrid monitoring system

为实现微电网的安全运行,海岛微电网监控系统应具备电气量监测、气象环境监测、能量优化调度、协调控制等功能。

电气量监测: 主要对微电网内的 DG、储能、负荷、保护等关键设备的运行信息进行采集与传输,为微电网的运行控制提供保障。

气象环境监测: 借助传感器采集微电网当地的光照、风速、温度、湿度等气象环境信息,建立环境信息历史数据库,为微电网内光伏发电、风力发电、负荷的功率预测提供数据基础。

能量优化调度: 利用风力发电功率预测技术、光伏发电功率预测技术、负荷功率预测技术,考虑

微电网运行的经济性,制定日前、日内发电计划,实现微电网能量管理优化调度。

协调控制: 微电网监控系统需实时协调各个电源出力,维持系统功率平衡。此外,当微电网发生故障时,采取合适的协调控制措施,以维持微电网的稳定。

1.2 海岛微电网监控系统的通信需求

海岛微电网监控系统的目标是实现微电网的运行控制,保障微电网的稳定运行。文中按照时间尺度将微电网的控制分为预防控制和紧急控制。预防控制是基于气象环境监测信息,在 DG 和负荷功率预测的基础上,制定并实施微电网的能量优化调度策略,预防控制的时间尺度为小时级与分钟级。紧急控制是根据电网的电气监测信息,对微电网内的设备进行控制,维持微电网的实时功率平衡。在发生故障或者越限时,进行必要的发电与负荷控制,减小故障影响范围。紧急控制要求信息传递具备快速性与实时性。

海岛微电网对通信网络的实时性要求浮动范围广,具体的网络需求如下:气象环境监测服务于预防控制,不要求信息传递的实时性;微电网内设备的保护信息、控制信息、电气量监测信息是紧急控制的基础,此类信息要求传递的实时性与可靠性。

此外,由于海岛上缺乏专业电网维护人员,微电网发生的故障难以得到及时的排除。海岛微电网的本地监控系统需要与远方监控中心进行通信,使远方电网专业维护人员能够及时获取微电网运行状态,保证海岛微电网得到运维。

1.3 海岛微电网监控通信方式选择

目前快速发展的各种通信方式各有特点。光纤通信通信容量大、传输损耗小,不受电磁干扰,可靠性强,但铺设与维护成本高^[18]。新型无线通信技术(long rang, LoRa)融合了多种技术,包括扩频技术、前向纠错编码技术和数字信号处理技术,无线传输距离较长,成本低,系统功耗低,安全性和抗干扰性好^[19]。无线保真技术(wireless fidelity, WiFi)是能够在数百米范围内支持互联网接入的无线电信号,成本低,传输速度快,完全满足电网监控的实时性与快速性要求^[20]。长期演进技术(long term evolution, LTE)是目前使用广泛的无线通信技术,具有通信速率快、网络时延低等特点^[21]。

根据各种通信方式的特点,结合微电网监控系统对通信的要求和海岛微电网的现实条件,确定采用混合通信方式能比较经济地满足微电网监控系统的通信要求,如图 3 所示,具体如下。

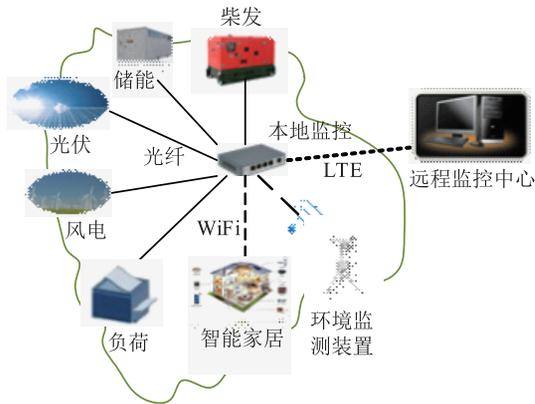


图3 微电网监控系统的通信方式

Fig.3 Island microgrid communication diagram

(1) 微电网中 DG、逆变器、保护装置等电力设备至关重要,对这些电力设备的监测与控制必须满足实时性与可靠性要求,采用光纤通信方式;

(2) 由于微电网环境信息监测装置分布广泛,环境监测信息的实时性要求较低,采用 LoRa 通信;

(3) 在海岛微电网所接负荷中,家庭智能负荷在 WiFi 覆盖范围内,利用 WiFi 通信能满足家庭负荷监控的实时性与经济性;

(4) 海岛微电网与远程监控中心的通信采用 LTE 通信方式,保证远程控制中心对微电网的远程实时监控与运维。

2 海岛微电网的预防-紧急控制方法

微电网正常运行时,环境监测装置通过 LoRa 通信按周期上传环境监测数据,微电网控制中心根据获取的环境数据预测分布式电源出力和负荷功率,滚动优化制定微电网能量调度策略,由控制中心下发指令对各个能量单元实施预防控制。预防控制的时间尺度是分钟级或小时级,可缓解风电、光伏与负荷功率的不确定性引起的功率不平衡问题。

微电网控制中心通过光纤通信实时监测电源、储能和负荷的功率与状态。在微电网出现故障或功率波动较大时,可能出现微电网内电源调节不能满足功率需求的紧急情况,微电网监控中心根据监测信息迅速实施紧急控制,以维持微电网的稳定。紧急控制的时间尺度是毫秒级或秒级。

2.1 预防控制

依据时间尺度不同,将微电网预防控制分为日前调度和日内调度两个阶段。日前调度是基于环境监测信息与数值天气预报,提前一天对微电网内新能源出力与负荷进行预测,在此基础上,以微电网调度日整体运行费用最低为目标,优化柴油发电

机、储能设备的运行状态。日内调度以日前调度计划为基础,借助滚动更新的新能源出力和负荷预测信息,在不改变日前计划中柴油发电机启停状态,且满足功率平衡、潮流安全等约束条件下,滚动优化柴油发电机、储能设备以及新能源的有功输出,保证微电网的稳定运行。

2.1.1 日前调度

(1) 目标函数。日前调度是提前一天制定能量调度计划,时间分辨率为 1 h,即基于日前风电、光伏、负荷预测曲线,计划未来 24 h 的风光柴储出力。以系统运行总成本最小为目标,安排各调度资源出力计划,目标函数为:

$$\min \sum_{t=1}^{N_T} \{ F_{DEa}(t) + C_{WT}[P_{WTA}(t) - P_{WTA}(t)] + C_{PV}[P_{PVA}(t) - P_{PVA}(t)] + F_{BSa}(t) \} \quad (1)$$

式中: N_T 为调度时段个数; F_{DEa} 为柴发运行成本,包括燃料成本、运行维护成本、环境成本; C_{WT} 为风电弃风成本; P_{WTA} 为日前风电预测功率; P_{WTA} 为日前调度风电输出功率; C_{PV} 为光伏弃光成本; P_{PVA} 为日前光伏预测功率; P_{PVA} 为日前调度光伏输出功率; F_{BSa} 为储能运行成本。

(2) 约束条件。有功功率平衡约束:

$$P_{DEa}(t) + P_{WTA}(t) + P_{PVA}(t) + P_{BSa}(t) = P_{LA}(t) \quad (2)$$

式中: P_{DEa} 为柴油发电机输出功率; P_{BSa} 为储能输出功率,储能放电时输出功率为正,储能充电时输出功率为负; P_{LA} 为日前负荷预测功率。

柴油发电机出力上下限约束:

$$\beta P_{Dn} \leq P_{DEa}(t) \leq P_{Dn} \quad (3)$$

式中: P_{Dn} 为柴油发电机额定功率,为了保证柴油发电机运行效率与寿命^[22],限制其出力最低为额定功率的 β 倍。在文中, β 取 0.2。

风电出力约束:

$$0 \leq P_{WTA}(t) \leq P_{WTA}(t) \quad (4)$$

光伏出力约束:

$$0 \leq P_{PVA}(t) \leq P_{PVA}(t) \quad (5)$$

储能约束:

$$S_{SOC}(t+1) = S_{SOC}(t) - P_{BSa}(t)/C_b \quad (6)$$

$$S_{SOCmin} \leq S_{SOC}(t) \leq S_{SOCmax} \quad (7)$$

$$P_{BSmin} \leq |P_{BS}(t)| \leq P_{BSmax} \quad (8)$$

式中: S_{SOC} 为储能的荷电状态; C_b 为储能的额定容量; S_{SOCmin} , S_{SOCmax} 分别为储能荷电状态的上下限; P_{BSmin} , P_{BSmax} 分别为储能充放电功率的上下限。为了给微电网留有一定的备用,应根据微电网的实际情况设置储能荷电状态的下限。

2.1.2 日内调度

2.1.1 节中提出了日前调度方案,但是考虑到日前的风电功率、光伏功率、负荷功率预测可能存在较大的误差,日前经济调度并不能满足微电网的运行控制要求。因此,提出日内调度方案,依据日内风电、光伏、负荷超短期预测功率,以 15 min 为分辨率,进行滚动优化,制定未来 4 h 风电、光伏、柴油发电机和储能的调度计划,以调度周期内的系统成本最小为目标,安排各调度资源出力计划。目标函数为:

$$\min \sum_{t=1}^{N_{\text{rimei}}} \{ F_{\text{DEB}}(t) + C_{\text{WT}} [P_{\text{WTB}}(t) - P_{\text{WTb}}(t)] + C_{\text{PV}} [P_{\text{PVB}}(t) - P_{\text{Pvb}}(t)] + F_{\text{BSb}}(t) \} \quad (9)$$

式中: N_{rimei} 为调度时段个数; P_{WTB} 为日内风电预测功率; P_{WTb} 为日内调度风电输出功率; P_{PVB} 为日内光伏预测功率; P_{Pvb} 为日内调度光伏输出功率。

日内调度的约束条件除了与日前调度类似的各分布式电源出力上下限约束,在优化时不改变日前调度计划中柴油发电机启停状态。此外,为了保证微电网的运行安全,还考虑微电网的潮流约束。

柴油发电机发出力上下限约束:

$$\beta \alpha P_{\text{Dn}} \leq P_{\text{DEB}}(t) \leq \alpha P_{\text{Dn}} \quad (10)$$

式中: α 为日前调度柴发启停状态,日前调度结果中,柴发开启时 α 取 1,否则取 0。

潮流约束:

$$\begin{cases} P_{\text{Gi}} - P_{\text{Li}} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) = 0 \\ Q_{\text{Gi}} - Q_{\text{Li}} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) = 0 \end{cases} \quad (11)$$

式中: n 为网络节点个数; $P_{\text{Gi}}, Q_{\text{Gi}}, P_{\text{Li}}, Q_{\text{Li}}$ 分别为节点 i 的有功、无功发电功率与有功、无功负荷; G_{ij}, B_{ij} 分别为网络的电导和电纳矩阵元素; V_i 和 V_j 分别为节点 i 和节点 j 的电压; δ_{ij} 为节点 i 和节点 j 之间的相角差。

节点电压、线路电流约束:

$$V_i^{\min} < V_i < V_i^{\max} \quad (12)$$

$$I_{ij}^{\min} < I_{ij} < I_{ij}^{\max} \quad (13)$$

式中: V_i^{\min}, V_i^{\max} 分别节点 i 的上下限; I_{ij} 为连接 i, j 节点的支路电流; $I_{ij}^{\min}, I_{ij}^{\max}$ 分别为支路电流的上下限。

文中采用遗传算法求解日前调度与日内调度对应的非线性优化模型。

2.2 紧急控制

预防控制的多时间尺度调度能够逐级缓解风

电、光伏与负荷功率不确定性引起的功率不平衡问题,但考虑到日内调度时间跨度仍然较大,在实时运行中各电源出力必然会偏离预防控制的优化调度结果。微电网控制中心通过通信网络监测微电网的运行状态,包括微电源的功率、负荷功率、母线电压、频率等。在微电网受到扰动较小时,微电网控制中心根据监测信息调整柴发和储能的功率使微电网运行在正常工作区。在微电网出现故障或风速、光照、负荷波动较大时,可能出现微电网内电源和储能的调节不能满足功率需求的情况,此时如果负荷功率大于系统能发出的最大功率,频率可能急剧跌落,微电网控制中心需通过监测设备迅速估算缺额功率,根据扰动的大小及负荷功率信息,进行切负荷控制。考虑到偏远海岛上的军用、海事等重要负荷占比大,在紧急情况时优先切除非重要负荷,保证重要负荷的供电。

2.2.1 负荷分类

微电网中负荷种类繁多,文中从用户对供电的要求角度将海岛微电网内负荷分为 3 类:第一类为可中断负荷,包括冰箱、热水器、空调等负荷,其供电可中断且短时间中断供电对用户影响较小;第二类为普通负荷,包括除可中断负荷的普通家庭用电负荷,供电中断对普通居民用户影响较大;第三类为重要负荷,此类负荷要尽可能保证供电,如海岛上的军用、海事负荷等。

2.2.2 微电网紧急控制方案

设置微电网紧急控制频率限值 f_0, f_1, f_2, f_3 ,将微电网运行状态按频率值进行分区。在微电网受到扰动导致频率下跌过程中,在不同的分区内采取相应措施,优先调整储能功率使电网运行在正常区域,若储能调节能力不足以阻止频率的持续下跌,优先切除非重要负荷,阻止频率的大幅度跌落,保障重要负荷的供电。

紧急控制方案具体如下:

(1) 控制中心实时监测系统中负荷与电源的运行情况,并采集频率等状态信息。

(2) 在遭受扰动导致频率跌落时,若 $f < f_0$,控制中心根据监测信息估算功率缺额,调整储能输出功率。若储能可增加功率小于功率缺额,储能按最大输出功率值运行。

(3) 实时测量频率 f ,当 $f < f_1$ 时,可中断负荷响应中断;当频率跌落至 $f < f_2$ 时,普通负荷响应中断;当 $f < f_3$ 时,切除部分重要负荷。

(4) 为防止频率的超调,负荷被切除一段时间后,由控制中心控制对可恢复的负荷重新供电,在

此过程中优先恢复重要负荷供电。

当然,孤岛微电网的紧急切负荷控制,是在微电网有功功率不足时,防止低频发生的重要措施。在微电网有功功率过剩时,还需要进行紧急减发电控制,减少微电源的有功出力防止频率升高。紧急切负荷与紧急减发电控制的配合使用,才能有效降低紧急情况下微电网的损失。文中的微电网预防控制与紧急控制的流程如图4所示。

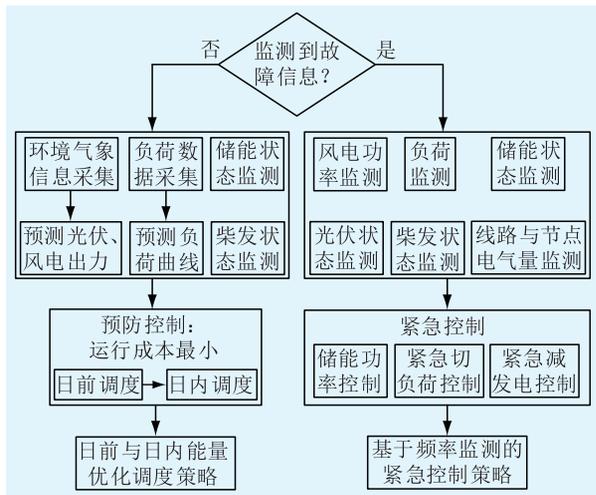


图4 微电网预防控制与紧急控制流程
Fig.4 Diagram of microgrid preventive-emergency control

3 算例分析

文中所研究的海岛微电网包含2台柴油发电机G(装机容量均为100 kW),2台风力发电机组WT(最大出力均为150 kW),200 kW 光伏发电系统PV,容量为500 kW·h、功率为200 kW 的储能系统BS,微电网的负荷总量为350 kW,其中可中断负荷60 kW,普通负荷170 kW,重要负荷120 kW。微电网系统结构示意图见图5。

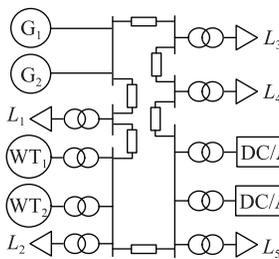


图5 海岛微电网系统结构
Fig.5 The structure island microgrid

为了满足微电网的运行控制需求,此微电网中,柴油发电系统、风力发电系统、光伏发电系统、储能系统的监测、保护与控制装置采用光纤通信与控制中心进行数据交互; L_1, L_3, L_4 为居民室内负荷,

其监测与控制装置采用 WiFi 通信与监控中心进行数据交互,能够实现实时功率监测与控制; L_2, L_5 为海事与军用负荷,其监测与控制装置采用光纤通信与控制中心进行数据交互;风速、光照、温度等环境监测装置采用 LoRa 通信上传数据到监控中心;微电网的本地监控中心与远程监控中心之间采用 LTE 通信方式。

3.1 预防控制

某典型日风力发电机组、光伏发电系统与负荷的日前与日内预测信息如图6所示。

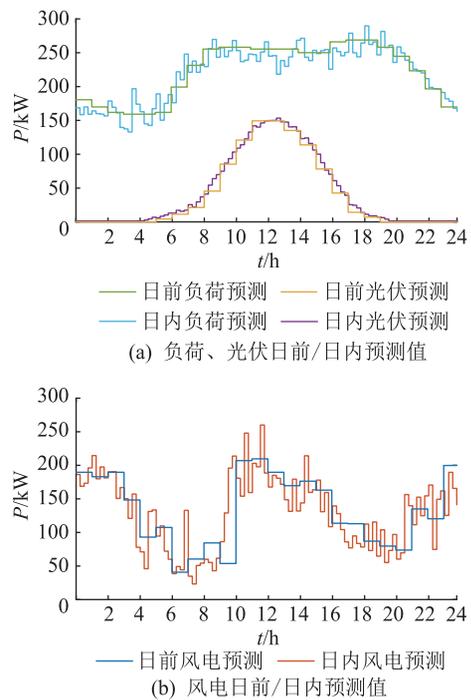


图6 负荷、光伏与风电日前/日内预测值
Fig.6 Day-ahead/intraday forecasting of load, PV power and wind power

根据微电网日前调度与日内调度模型,优化所得微电网各类电源日前优化调度结果如图7所示,日内优化调度结果如图8所示。

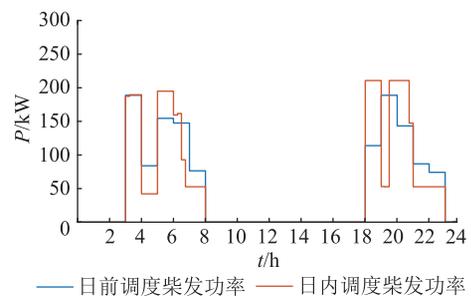


图7 柴发日前调度与日内调度优化结果
Fig.7 Day-ahead/intraday scheduling of diesel generator

在微电网调度优化结果中,在11:00~16:00,由于光伏出力较大,可再生能源出力在满足负荷用电

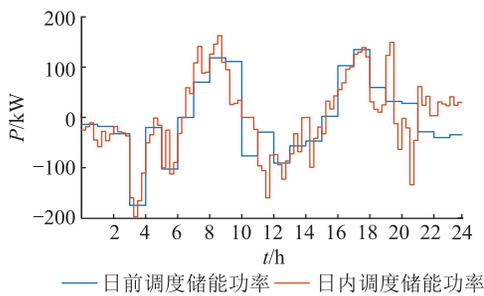


图8 储能系统日前调度与日内调度优化结果

Fig.8 Day-ahead/intraday scheduling of energy storage

需求情况下仍有剩余,柴油发电机组处于关停状态,储能系统处于充电状态。由于夜间光伏出力为0,风力发电机组和储能系统并不能完全满足负荷用电需求,必要时刻开启柴油发电机组供电。

日前风电、光伏出力和负荷预测值与日内预测值存在偏差,为保证微电网稳定运行,日内调度计划对日前调度计划有较大程度的修正。如图8所示,由于柴油发电机组在日内调度优化过程中被限制启停时刻,在柴油发电机组处于关停状态时,储能系统独自平抑系统功率波动,预测偏差对储能系统充放电功率影响更为显著。

3.2 紧急控制

在微电网出现故障导致功率不平衡时,系统按紧急控制方案,阻止频率的大幅度跌落,保障重要负荷的供电。

设置 $f_0 = 49.6$ Hz, $f_1 = 49.3$ Hz, $f_2 = 49.0$ Hz, $f_3 = 48.5$ Hz。图9和图10分别表示两种扰动导致短时间内功率缺额时系统的频率和功率曲线。

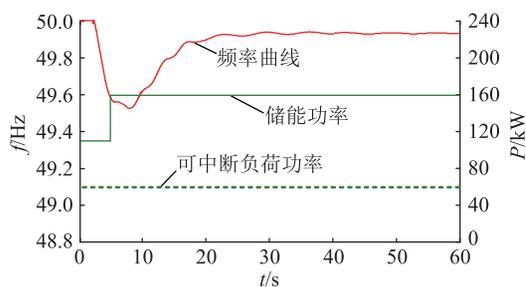


图9 扰动 I 时系统频率与功率曲线

Fig.9 The frequency and power curve of the system during fault I

设置扰动 I 为某个风机故障导致故障系统突然出现功率缺额,此时储能放电功率为 110 kW。微电网控制中心监测到频率下降到 49.6 Hz 时,估算系统功率缺额后增加储能出力到 160 kW,系统频率逐渐恢复到正常范围内。设置扰动 II 为光伏逆变器故障导致系统出现功率缺额较大。当故障发生,微电网控制中心监测频率下降到 49.6 Hz 后,估算

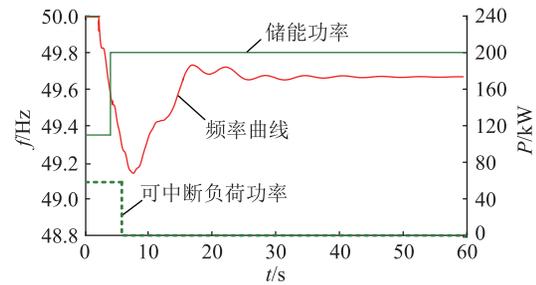


图10 扰动 II 时系统频率与功率曲线

Fig.10 The frequency and power curve of the system during fault II

出功率缺额较大,迅速增大储能放电功率到最大值 200 kW。由于储能调节能力不足以阻止频率的持续下跌,当 $f < 49.3$ Hz 时,系统切除可中断负荷 60 kW。在切除可中断负荷后,频率未跌落至 49 Hz,系统不再继续切负荷。微电网中对负荷重要性进行分级以实现负荷精准控制,非重要负荷在相对更高的频率开始响应动作,能够有效地抑制频率跌落的深度,保证对重要负荷的供电。

4 结语

文中针对偏远海岛微电网远程运维困难、监控系统通信建设成本高等问题,提出采用多种通信方式联合组网构建海岛微电网监控系统,并基于此研究海岛微电网预防-紧急控制方法。

(1) 分析了微电网通信方式与控制方法的相互影响关系,确定了采用多种通信方式联合组网构建微电网监控系统能够在满足控制需求的前提下降低建设成本。

(2) 微电网正常运行时,根据风电、光伏和负荷的预测信息,分别制定微电网日前调度与日内调度策略,在保证负荷供电的基础上降低微电网运行成本。

(3) 微电网发生故障时,监控系统实时监测故障信息,以负荷重要程度对负荷进行分级,在频率下跌时,优先切除非重要负荷,阻止频率大幅度跌落,保障重要负荷的供电。

微电网技术快速发展的背景下,通信技术与量测技术为偏远海岛持续稳定的电力供应提供了良好的技术基础。由于海岛环境恶劣、远离陆地,如何选取合适的通信方式,充分利用量测设备建立高效可靠地海岛微电网监控系统,实现微电网的远程监控与运维值得进一步研究。

本文得到了国网江苏省电力有限公司科技项目“离网海岛能源综合利用关键技术研究”资助,谨此致谢!

参考文献:

- [1] 国家海洋局. 全国海岛保护规划[Z]. 2012-4-19.
State Oceanic Administration. The island conservation planning [Z]. 2012-4-19.
- [2] 杨欢,赵荣祥,辛焕海,等. 海岛电网发展现状与研究动态[J]. 电工技术学报,2013,28(11):95-105.
YANG Huan, ZHAO Rongxiang, XIN Huanhai, et al. Development and research status of island power systems[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013,28(11):95-105.
- [3] 张丹,王杰. 国内微电网项目建设及发展趋势研究[J]. 电网技术,2016,40(2):451-458.
ZHANG Dan, WANG Jie. Research on construction and development trend of micro-grid in china[J]. Power System Technology, 2016, 40(2): 451-458.
- [4] 林湘宁,陈冲,周旋,等. 远洋海岛群综合能量供给系统[J]. 中国电机工程学报,2017,37(1):98-110.
LIN Xiangning, CHEN Chong, ZHOU Xuan, et al. Integrated energy supply system of pelagic clustering islands[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(1): 98-110.
- [5] 文凌锋,党广宇,田伟,等. 基于多时间尺度风储协同的微电网能量管理策略研究[J]. 电力工程技术,2018,37(3):123-128.
WEN Ling, DANG Guangyu, TIAN Wei, et al. Research on micro-grid energy management system based on multi-time scale [J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(3): 123-128.
- [6] 于芑,刘兴华,孙树敏,等. 高可再生能源渗透率海岛微电网运行控制[J]. 电网技术,2018,42(3):779-788.
YU Peng, LIU Xinghua, SUN Shumin, et al. Study on operation control of island microgrid with high renewable energy penetration [J]. Power System Technology, 2018, 42(3): 779-788.
- [7] 崔林,唐沂媛. 冷热电联供型微电网优化运行及敏感性分析[J]. 电力工程技术,2017,36(6):138-143.
CUI Lin, TANG Yiyuan. Optimal operation and sensitivity analysis of the combined cooling, heating and power microgrid [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(6):138-143.
- [8] MA T, CINTUGLU M H, MOHAMMED O A, et al. Control of a hybrid AC/DC microgrid involving energy storage and pulsed loads[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2017, 53(1):567-575.
- [9] 郝雨辰,江叶峰,仇晨光,等. 基于多代理系统的直流微电网分区域式稳定控制方法研究[J]. 电力工程技术,2017,36(5):15-20.
HAO Yuchen, JIANG Yefeng, QIU Chenguang, et al. Research on sub-regional stability control of DC microgrid based on multi-agent system [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(5):15-20.
- [10] 齐浩宇,张俊芳. 考虑通信中断的互联电网自动发电控制策略[J]. 江苏电机工程,2016,35(6):5-8.
QI Haoyu, ZHANG Junfang. AGC strategy considering communication outage for interconnected power grids. [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016,35(6):5-8.
- [11] 郭思琪,袁越,张新松,等. 多时间尺度协调控制的独立微网能量管理策略[J]. 电工技术学报,2014,29(2):122-129.
GUO Siqi, YUAN Yue, ZHANG Xinsong, et al. Energy management strategy of isolated microgrid based on multi-time scale coordinated control [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014,29(2):122-129.
- [12] 刘方,杨秀,时珊珊,等. 不同时间尺度下基于混合储能调度的微网能量优化[J]. 电网技术,2014,38(11):3079-3087.
LIU Fang, YANG Xiu, SHI Shanshan, et al. Hybrid energy storage scheduling based microgrid energy optimization under different time scales[J]. Power System Technology, 2014, 38(11): 3079-3087.
- [13] MOHAN V, SURESH R, SINGH J G, et al. Microgrid energy management combining sensitivities, interval and probabilistic uncertainties of renewable generation and loads [J]. IEEE Journal on Emerging & Selected Topics in Circuits & Systems, 2017, 99:1-9.
- [14] 王波,张保会,郝治国. 基于功率监测和频率变化率的孤岛微电网紧急切负荷控制[J]. 电力系统自动化,2015(8):33-37.
WANG Bo, ZHANG Baohui, HAO Zhiguo. Emergency load shedding control for island microgrid based on power monitoring and rate of frequency change[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015(8): 33-37.
- [15] 毕大强,范柱烽,解东光,等. 海岛光储直流微电网自治控制策略[J]. 电网技术,2015,39(4):886-891.
BI Daqiang, FAN Zhufeng, XIE Dongguang, et al. Autonomous control strategy of island dc microgrid with photovoltaic and storage system [J]. Power System Technology, 2015, 39(4): 886-891.
- [16] 田盈,孟赛,邹欣洁,等. 兆瓦(MW)级海岛微电网通信网络架构研究及工程应用[J]. 电力系统保护与控制,2015,43(19):112-117.
TIAN Ying, MENG Sai, ZOU Xinjie, et al. Megawatt island micro grid system communication network architecture research and engineering application [J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(19):112-117.
- [17] 查申森,窦晓波,王李东,等. 微电网监控与能量管理装置的设计与研发[J]. 电力系统自动化,2014,38(09):232-239.
ZHA Shensen, DOU Xiaobo, WANG Lidong, et al. Design and research of microgrid monitoring and energy management device [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(09): 232-239.
- [18] 殷伟,颜云松,潘琪,等. 精准负荷控制系统的快速通信接口方案设计[J]. 电力系统自动化,2018,42(10):143-149.
YIN Wei, YAN Yunsong, PAN Qi, et al. Design of fast communication interface for precision load control system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(10): 143-149.
- [19] 赵静,苏光添. LoRa 无线网络技术分析[J]. 移动通信, Electrical Engineering, 2016,35(6):5-8.

- 2016, 40(21):50-57.
- ZHAO Jing, SU Guangtian. Analysis on LoRa wireless network technology [J]. Mobile Communications, 2016, 40(21):50-57.
- [20] 黄新波,唐书霞,刘家兵,等. 青海—西藏交直流联网工程输电线路在线监测通信网络设计与应用[J]. 高电压技术, 2013, 39(11):2589-2596.
- HUANG Xinbo, TANG Shuxia, LIU Jiabing, et al. Design and application of on-line monitoring communication network of Qinghai—Tibet AC/DC interconnection project transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 2013, 39(11):2589-2596.
- [21] 李映雪,陆俊,徐志强,等. 多技术融合的智能配用电终端通信接入架构设计[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(10):163-169.
- LI Yingxue, LU Jun, XU Zhiqiang, et al. Design of terminal communication access architecture for smart power distribution and utilization based on integration of multiple technologies [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(10):163-169.
- [22] 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.

作者简介:



孙大松

孙大松(1993),男,硕士在读,研究方向为电力系统自动化(E-mail:sundasong@seu.edu.cn);

郁正纲(1972),男,博士,高级工程师,从事电网运行与分析等工作;

伏祥运(1976),男,博士,高级工程师,从事电网规划、调度等工作。

Control method based on multi-communications in island microgrid

SUN Dasong¹, YU Zhenggang², FU Xiangyun², FENG Xinzhen³, TANG Yi¹

(1. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. State Grid Lianyungang Power Supply Company, Lianyungang 222002, China; 3. Jiangsu Engineering Technology Research Center for Energy Storage Conversion and Application, China Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: The harsh environment and poor communication conditions make it difficult for the operation and maintenance of island microgrid. Firstly, the architecture and function of the island microgrid monitoring system are analyzed. Based on the multi-time scale characteristics of microgrid control, combined with the geographical conditions of remote islands, the hybrid communication method is proposed to meet the communication requirements of the microgrid monitoring system. Secondly, based on the characteristics of communication, the preventive control and emergency control methods of the microgrid are proposed. When the microgrid is operating normally, the load and distributed power output are predicted based on the meteorological environment information monitored, and a microgrid energy scheduling strategy is formulated to implement preventive control measures in the microgrid. When the microgrid is in a state of emergency, the microgrid control center performs emergency load control measures based on the magnitude of the monitored disturbance and load power information. Finally, a microgrid is taken as an example for analysis to verify the validity of the proposed method.

Keywords: island microgrid; multi-communications; preventive control; emergency control; monitoring system

(编辑 钱悦)