

微电网运行控制解决方案及应用

张新昌

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 微电网是分布式电源的有效组织形式。它整合了分布式发电和配电网之间的关系, 实现了分布式发电的可控, 解决分布式发电接入配电网问题。微电网可视为大电网的可控单元, 可并网运行也可以孤立运行。讨论了基于三层结构的微电网控制运行方案中采用的 IEC61850 标准的微电网通信技术、快速响应的微电网动态稳定控制技术、基于经济优化调度的微电网稳态能量管理控制技术。最后介绍了上述技术在实际微电网工程中的应用情况。

关键词: 分布式发电; 微电网; 能量管理

Solution and application of micro-grid operation control

ZHANG Xin-chang

(XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: Micro grid is an effective organization form of the distributed resource. Micro grid technology integrates the relationship between distributed resource and distribution network, which realizes the distributed generation controllable, and solves the problem that distributed generations access distribution network. Micro grid can be regarded as a controllable unit of the power grid, which can run under either grid-connectedness or independence. This paper discusses microgrid operation control solution based on three-layer structure, which adopts the microgrid communication technology based on IEC61850 standard, dynamic stability control technology with rapid response, and microgrid energy management steady control technology based on optimizing operation. Finally, a practical engineering of micro grid is introduced.

Key words: distributed generation; microgrid; energy management

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2014)10-0141-06

1 微电网与分布式发电

分布式发电 (Distributed Generation, DG) 是指满足终端用户的特殊需求、接在用户侧附近的小型发电系统, 是存在于公共电网以外、任何能发电的系统^[1]。分布式电源 (Distributed Resource, DR) 是指 DG 与储能装置 (Energy Storage, ES) 的联合系统 (DR=DG+ES)。它们的规模一般不大, 通常为几十千瓦至几十兆瓦, 所用的能源包括天然气 (含煤层气、沼气等)、太阳能、生物质能、氢能、风能、小水电等洁净能源或可再生能源; 而储能装置主要为蓄电池, 还可能采用超级电容器、飞轮储能等。

相比常规火电或水电电源, 分布式电源具有以下几个特点:

(1) 环境友好, 燃料多元化, 采用清洁燃料做能源, 实现环保效益;

(2) 装机容量小、初期投资少, 减低远距离输

送损失和相应的输配电系统;

(3) 实现能源综合梯级利用, 能源利用率高, 节能效果好;

(4) 分布式发电具有随机波动性和间歇性, 控制困难, 对电网稳定造成影响。

微电网 (Micro-Grid, MG) 是由分布式发电、负荷、储能及控制装置构成的单一可控的独立发电系统, 是分布式能源的有效组织方式^[2]。微电网可以实现自我控制、保护和管理的自治, 它具备完整的发、输、配电功能, 可依靠自身的控制及管理功能实现功率平衡控制、系统运行优化、故障检测与保护、电能质量治理等, 既可以与外部电网并网运行, 也可以孤立运行。

采用微电网技术有以下优点:

(1) 微电网将储能技术和分布式发电结合, 解决分布式发电出力波动问题, 大大提高分布式电源的有效运行时间和效率;

(2) 微电网可利用自身的储能进行削峰填谷, 在大电网用电紧张时, 可避免配电网的拉闸限电, 减少大电网的备用容量;

(3) 在电网故障、灾害等特殊情况下, 微电网离网运行可保证供电可靠性, 加速大电网的故障恢复;

(4) 分布式发电与电网接口采用电力电子装置, 可灵活地控制发电的有功、无功输出及电压输出, 有助于能源的优化利用和电网节能降耗。

2 微电网控制及运行技术方案

微电网运行分为并网运行及离网运行两种方式。并网运行就是微电网与公用大电网相连, 与主网配电网系统进行电能交换。离网运行又称孤岛运行, 是指在电网故障或计划需要时, 与主网配电网系统断开, 由 DG、储能装置和负荷构成的运行方式。并网型微电网由大电网提供电压、频率稳定支撑, 微网的功率缺额可以由大电网提供, 控制相对简单。而离网型微电网不仅需要能量管理, 还需进行发电控制、负荷控制和储能协调, 保持系统频率稳定和电压稳定, 控制复杂^[3]。

2.1 “并网型”微电网解决方案

并网型微电网整体解决方案分别从配电网调度层、微电网集中层、分布式电源和负荷就地控制层三个层面进行综合管理和控制。微电网三层控制方案结构图如图 1 所示。

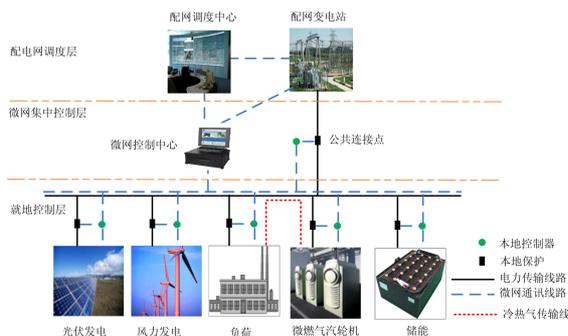


图 1 “并网型”微电网三层控制方案结构图

Fig. 1 “Grid-connected microgrid” three-layer control solution

配网调度层主要从配电网的安全、经济运行的角度协调调度微电网。微电网接受上级配电网的调节控制指令, 实现微电网与配电网的交互, 将微电网交换功率、并网离网状态等重要信息上传配网调度中心, 并接受配网调度中心对交换功率、功率因数、计划孤岛等的设置, 使微电网真正成为配电网的“友好公民”^[4]。

微电网集中控制层集中管理分布式电源和各类

负荷, 在微电网并网运行时实现微电网的最优经济运行, 在离网运行时调节分布式电源出力和负荷实现微电网的安全稳定运行, 主要功能包括离网能量平衡控制、分布式电源出力平滑控制、自动电压无功控制、分布式电源发电互补经济运行分析、削峰填谷等。

就地控制层负责执行微电网各 DG 调节、储能充放电控制和负荷控制。由就地保护设备和就地控制器组成, 完成分布式发电对频率和电压的一次调节, 就地完成微电网的故障快速保护, 通过就地控制和保护的配合实现微电网故障的快速“自愈”。

2.2 独立供电型(离网型)微电网解决方案

独立微电网一般是指常规电网辐射不到的偏远地区, 包括海岛、边远山区等, 其 DG 接入容量接近或超过主网配电网系统, 即高渗透率独立微电网。对高渗透率独立微电网采用稳态恒频恒压控制、动态切机减载控制、暂态故障保护控制的三态控制, 保证微电网的稳定运行。独立微电网三态控制系统结构图如图 2 所示。

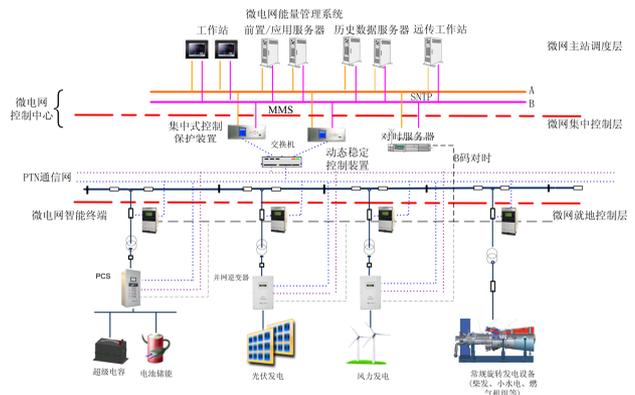


图 2 独立微电网三态控制系统结构图

Fig. 2 Independent microgrid tri-state control system

独立微电网控制体系整体分为三层: 第一层是主站调度层; 第二层是集中控制层; 第三层则是就地控制层。三层控制体系最大程度地实现了信息共享。

微电网主站调度层由前置、应用、历史数据服务器、外部系统接口服务器及相关工作站等组成, 负责完成微电网常规的经济优化调度。主要包括: 分布式电源出力与负荷预测、分布式发电功率平滑控制、主电源快速切换控制、快速能量平衡控制、电网经济优化运行等。

微电网集中控制层由电网集中保护控制器、动态稳定控制器、模式切换器, 光纤交换机等组成, 负责完成微电网系统动态功率扰动控制及集中式故

障保护等。主要包括：电网集中式差动保护、电网并网过渡状态控制、电网扰动快速动态稳定控制等。微电网可借助该控制层，完成对整个电网的数据采集，状态监控。

电网就地控制层由电网智能终端、CT与PT采集单元、分布式电源逆变设备等组成，负责完成数据的采集、设备的本地保护与控制。主要包括：馈线量测高精度快速采集、馈线故障保护、分布式电源并网逆变设备监控、分布式电源MPPT控制、分布式电源电网调度模式、PCS工作模式切换控制、储能(磷酸铁锂、铅酸等)与超级电容储能混合接入控制等。

3 微电网控制及运行采用的关键技术

3.1 基于 IEC61850 标准的微电网通信技术

微电网的运行和管理模式更加依赖于信息的采集与传输，设备的响应特性对通信的实时性与可靠性要求更高，通信系统是微电网运行控制与管理的基础环节^[5]。

微电网系统是建立在IEC61850通信技术规约基础之上，全网依照分层分布式来实现微电网智能电气设备间的信息共享和互动操作。

主站调度层与集中控制层及就地控制层保护测控等设备均采用IEC61850-8-1（即MMS）通信协议。集中控制层与就地控制层采用IEC61850-9-2（即SV）通信协议。集中控制层与就地控制层终端单元采用GOOSE通信协议。主站调度层采用SNTP对时协议，集中控制层与就地控制层设备采用IEEE1588对时协议。

集中控制层与就地控制层通讯组网采用支持GOOSE、SV、IEEE 1588数据传输的快速光纤网络，主站调度层与配电网就地控制层及远距离的光伏逆变器通讯组网可采用基于EPON技术的无源光纤网络，主站调度层与集中控制层、站内及分布式发电就地控制层通讯组网采用61850-8-1工业级以太网。

IEC61850标准是迄今为止最完善的变电站自动化标准，在智能变电站已广泛使用。微电网系统应用IEC61850标准可大幅度改善信息技术和自动化技术的设备数据集成，减少工程量、现场验收、运行、监视、诊断和维护等费用，节约大量时间，增加了运行控制系统使用期间的灵活性。

3.2 快速响应的动态稳定控制

微电网动态稳定控制主要包括频率扰动稳定控制、电压扰动稳定控制。微电网中运行电源备用容量小，可参与一次调整的调速器、二次调整的调频器能力不够，系统因分布式电源出力与负荷变化造

成的动态扰动对微电网稳定威胁很大，要求对微电网系统电压、频率进行快速、实时调整。

频率变化动态稳定控制是针对分布式电源出力变化或负荷变化、投切引起的频率波动，通过储能的充放电、减载切机等方式调节频率，使其恢复到合理范围内。依据频率动态特性，微电网频率稳定级别划分为四个区域，如图3所示。

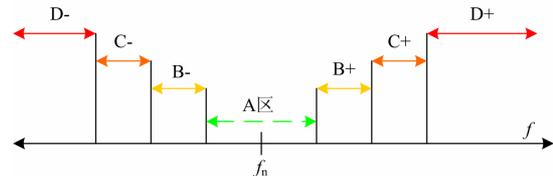


图3 频率稳定区域划分图

Fig. 3 Frequency stability region diagram

图3中A区域为频率正常运行区域，D区域为频率崩溃区域，A区域和D区域都属于不可控制的范畴。动态稳定控制策略主要针对B区域和C区域，可通过电网的仿真分析定义该区域范围。针对B、C区域，应用下垂控制方法，根据计算的有功功率缺额，通过储能的能量存储或释放（B区域）、切机或减载（C区域），抑制电网频率波动。

电压变化动态稳定控制是针对分布式电源出力变化或负荷变化、投切引起的电压波动，通过储能的充放电、减载切机等方式调节电压，使其恢复到合理范围内。

电压稳定控制同系统频率稳定控制相似，也是采用分区控制，如图4所示。

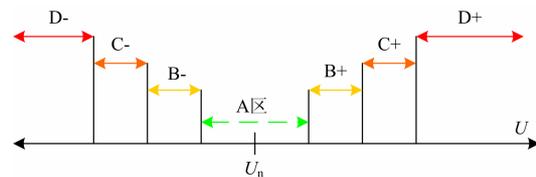


图4 电压稳定区域划分图

Fig. 4 Voltage stability region diagram

同系统频率稳定控制相似，B区域和C区域属于可控制的范畴，动态稳定控制策略也是针对这两个区域，可通过电网的仿真分析定义该区域范围。针对B、C区域，应用下垂控制方法，根据计算的无功功率缺额，通过调节储能无功功率大小、切机或减载，抑制电网电压波动。

3.3 能量管理与稳定控制

微电网能量管理与控制系统是微电网运行管理的核心，用于部署SCADA系统及能量管理系统服务、实时库、历史库、监控界面等，实现微电网内部监控和能量管理。

微网能量管理系统对整个系统中分布式电源、负荷、储能进行综合分析，基于系统稳定、优化运行目的进行系统自动控制，包括系统的自动发电控制、自动电压无功控制、荷源互动控制、主电源切换控制、储能充放电自动控制、超短期发电/用电预测等等，其控制甚至包括基于快速数据采集与控制的系统动态稳定控制器（实现借助储能充放电实现系统一次调频、低频减载、高频切机等功能）。微电网能量管理与控制模型如图 5 所示。



图 5 微电网能量管理与控制图

Fig. 5 Diagram of micro-grid energy management and control

4 微电网工程应用

微电网可以看做是小型的电力系统，具备完整的发、输、配电功能，可以实现局部的功能平衡与能量优化，它可以满足一片电力负荷聚集区的能量需要^[6]。

图 6 为电网智能电网研究院楼顶光伏发电、储能联合微电网系统一次接线图。

该系统由三个部分组成，依次为 900 kWp 光伏发电系统，磷酸铁锂储能系统及微电网管理系统。

系统实现功能如下：

(1) 微电网部分信息转发至中央展示系统，实现调度层的控制。实现微电网与配网的协调优化运行；

(2) 系统正常运行时 900 kW 光伏发电接入到倒班宿舍的低压配电室；实现倒班宿舍低压配电室微电网系统零功率交换。

(3) A、B 组团楼顶共 800 kW，选择其中 600 kW 光伏发电，实现主楼配电室低压母线与倒班宿舍楼配电室并网点的自动切换。

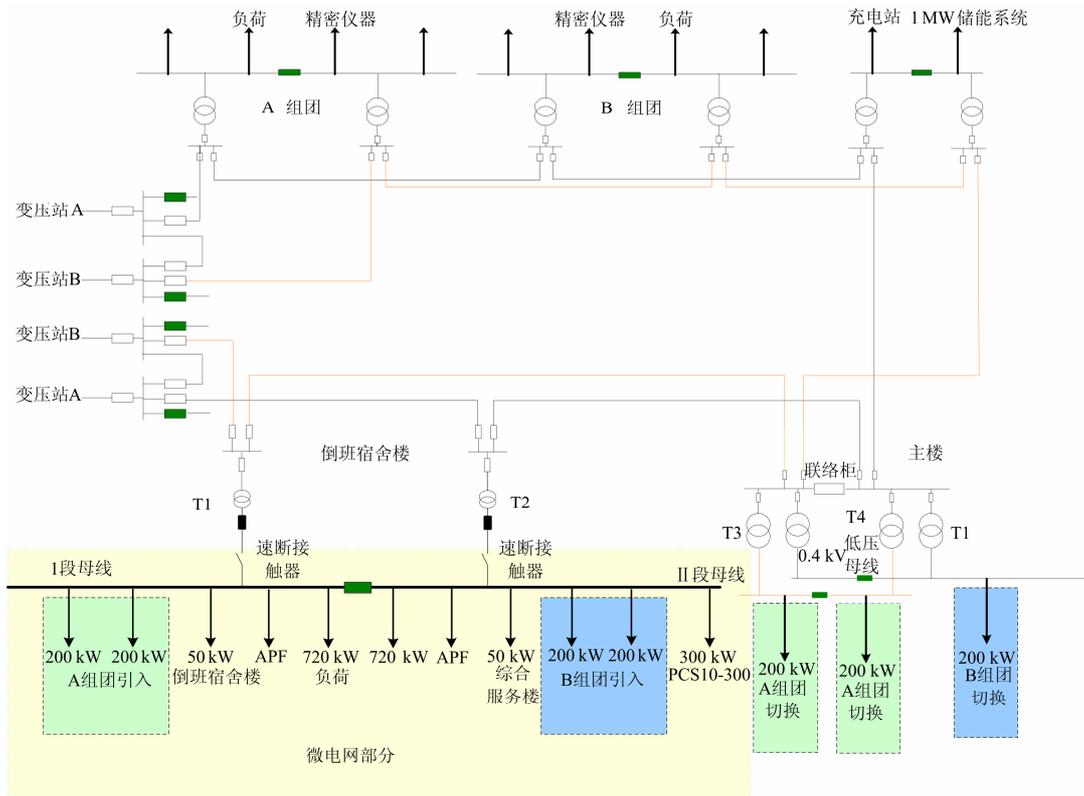


图 6 光储联合微电网系统一次图

Fig. 6 Solar and stored energy combined micro-grid diagram for one Smart Grid Institute

(4) 300 kW/600 kWh 磷酸铁锂电池双向储能系统由倒班宿舍配电系统接入，并实现微电网及通过配电网控制系统的灵活调度；

(5) 电能质量的监测与治理，电能质量符合光伏发电接入并网要求。

该微电网解决方案采用开放式分层分布结构，包含就地控制层、集中控制层、配电网调度层。

就地控制层设备通过通讯管理机转为以太网通讯方式后接入交换机，再通过交换机与集中控制层以太网连接，采用统一的 DLT860-61850 通讯规约实现与上位机的通讯，使整个微电网系统可以基于 IEC61850 规范实现数据交互。图 7 为该微电网系统网络结构图。

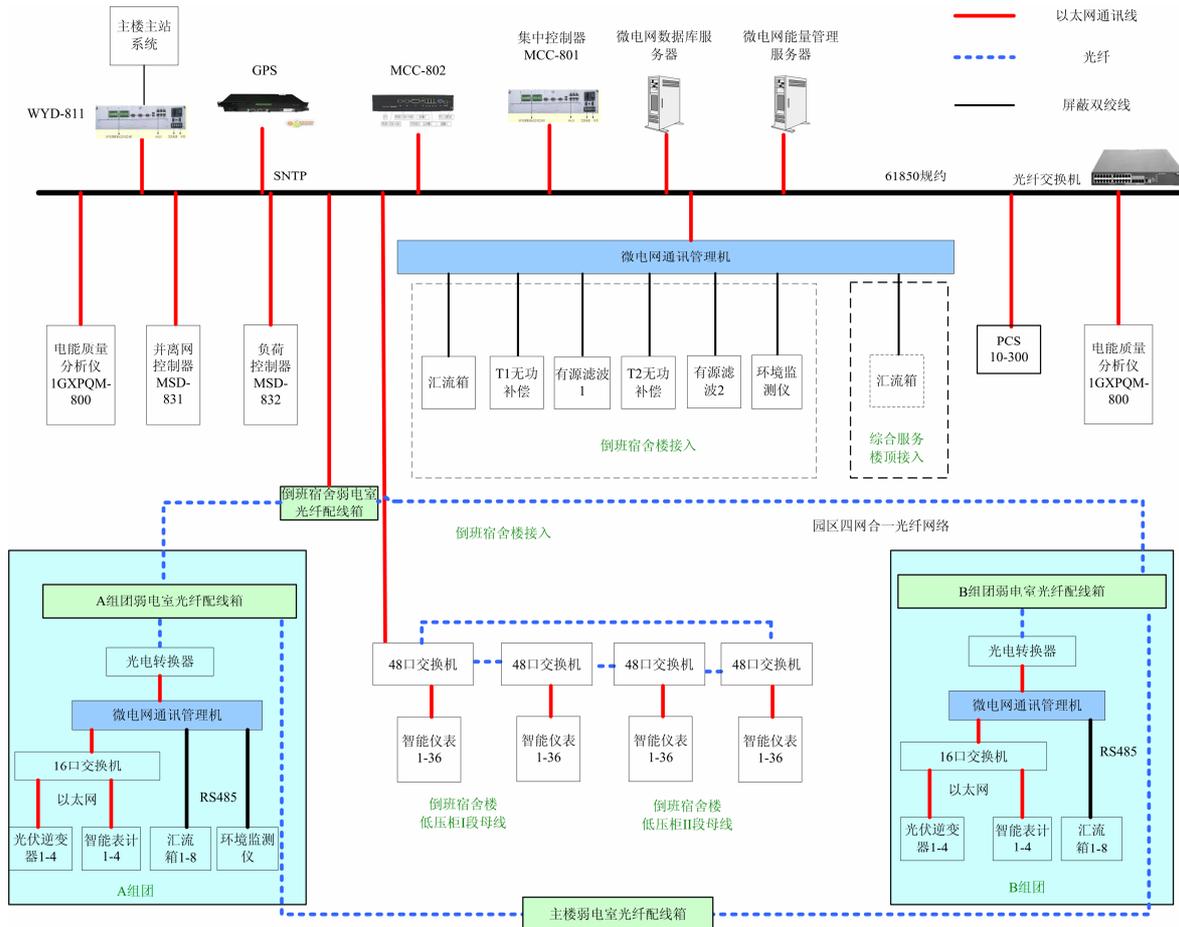


图 7 光储联合微电网系统网络结构图

Fig. 7 Solar and stored energy combined micro-grid network diagram for one Smart Grid Institute

该系统微电网能量管理系统功能如下：

(1) 并、离网自动切换

微电网支持从并网状态到离网状态、离网状态到并网状态这两个过渡状态的稳定平滑自动控制功能，并网状态到离网状态实现无缝切换，离网状态到并网状态实现无缝切换。

(2) 离网能量调度

微电网在离网期间，通过控制策略实现微电网分级负荷管理下的稳定运行。当配电网恢复供电后，微电网能自动平滑并网，并完成停电负荷的自恢复供电。

(3) 自动电压无功控制

微电网能通过自动电压无功控制模块保证微电网内部的电压质量，实现无功功率的就地平衡，确保电压在合格范围内。

(4) 调度交换功率控制

在并网运行方式下，可根据配电网下发的交换功率定值进行微电网调节控制，实现整个配电网最优运行。

(5) 储能充放电曲线控制

根据负荷曲线制定储能充放电曲线，依靠储能充放电实现用电负荷的消峰填谷。

(6) 分布式电源平滑出力控制

通过控制策略实现分布式电源出力平滑控制,抑制分布式电源波动性。

(7) 调度交换功率紧急控制

在特殊情况下(如发生地震、暴风雪、洪水等意外灾害情况)或在大电网用电紧张需大范围拉闸限电时,微电网作为配电网的后备电源向配电网提供有力支撑。微电网能量管理系统在保证微电网内部重要负荷用电的前提下,实现对配电网的紧急援助。

(8) 零交换功率控制

微电网集中管理系统在可再生能源出力、负荷、储能系统适合的条件下,并在配网调度的授权下,在满足微电网系统内部各项约束条件的前提下,通过其内部潮流分配调度,使微电网系统工作在零交换功率模式。

(9) 配网联合调度

微电网集中管理系统具有与配电调度中心交互信息的功能,能将微电网公共连接点处的并离网状态、交换功率上送调度中心,并可接受调度中心对微电网的并离网状态的控制和交换功率的设置。

(10) 微电网经济运行控制

微电网在并网运行时,在保证微网安全运行的前提下,以全系统能量利用效率最大和运行费用最低为目标,充分利用可再生能源,实现多能源互补发电,保证整个微电网的经济最优运行。

5 结语

本文介绍了分布式发电和微电网,指出微电网是分布式电源的有效组织形式。也详细介绍了“并网型”微电网和“离网型”微电网的运行控制解决方案。讨论了微电网控制运行方案中采用的三个关键技术即 IEC61850 标准的微电网通信技术、快速响应的微电网动态稳定控制技术、基于经济优化调度的微电网稳态能量管理控制技术。文章最后介绍了某光储联合微电网系统的概况、网络结构及能量管理系统的功能,这也是当前微电网领域研究的主要热点。

参考文献

[1] 李富生,李瑞生,周逢权,等.微电网技术及工程应用[M].北京:中国电力出版社,2013.

LI Fu-sheng, LI Rui-sheng, ZHOU Feng-quan, et al. Micro grid technology and engineering application[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2013.

[2] 周逢权,毛建容,马红伟,等.含高渗透分布式电源的独立海岛供电系统稳定控制探讨[J].电力系统保护与控制,2013,41(2):84-90.

ZHOU Feng-quan, MAO Jian-rong, MA Hong-wei, et al. Investigation for steady control of independent island electrical power supply system including high penetration distributed power supply[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(2): 84-90.

[3] 刘梦璇,郭力,王成山,等.风光柴储孤立微电网系统协调运行控制策略设计[J].电力系统自动化,2012,36(15):19-24.

LIU Meng-xuan, GUO Li, WANG Cheng-shan, et al. A coordinated operating control strategy for hybrid isolated microgrid including wind power, photovoltaic system, diesel generator, and battery storage[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(15): 19-24.

[4] 毛建荣,周逢权,马红伟,等.微电网组网优化设计[J].华北电力技术,2012(1):32-35.

MAO Jian-rong, ZHOU Feng-quan, MA Hong-wei, et al. Optimal design of microgrid networking[J]. North China Electric Power, 2012(1): 32-35.

[5] 张洋,李献伟.基于有功缺额的微电网集中控制策略研究[J].电力系统保护与控制,2011,39(23):106-111.

ZHANG Yang, LI Xian-wei. Research on micro-grid centralized control strategy based on active power vacancy[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(23): 106-111.

[6] 张洋,李强,李朝晖,等.光伏—储能联合微网系统工程方案设计[J].电力系统保护与控制,2010,38(23):212-214.

ZHANG Yang, LI Qiang, LI Zhao-hui, et al. Conceptual design for the project of microgrid system interconnected with photovoltaic generation & energy storage[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(23): 212-214.

收稿日期:2013-12-02; 修回日期:2014-02-24

作者简介:

张新昌(1962-),男,高级工程师,主要研究方向为电力系统保护与控制、分布式发电与微电网技术、电动汽车换电技术。E-mail: xinchangzh@xjgc.com