

微电网模式控制器研制与应用

陈娜, 王劲松

(国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要: 研制了满足各种微电网规模并离网切换控制的微电网模式控制器。该装置安装于微电网控制中心, 实时采集微电网并网点、分布式发电单元、储能单元及其负荷单元的三遥信息。在接收到调度主站的并离网切换指令或者检测到外网故障后协调控制微电网保护测控设备、储能逆变器、风机逆变器等智能设备, 最终实现微电网并离网切换控制。该装置成功应用于鹿西岛微电网示范工程, 有着广泛的应用前景。

关键词: 微电网; 并离网切换; 并网状态; 孤岛状态

Development and application of microgrid's connect & off-grid device

CHEN Na, WANG Jinsong

(NARI Technology Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: The connect & off-grid device which meets all sizes of microgrid is developed. This device, which is installed on control center of microgrid, real time collects the three remote information of point of common coupling, distributed generation, and energy storage and load. When receiving the scheduling of master station connect & off-grid command or fault detect, the device coordinates smart devices such as micro electrical protection measurement and control equipment, energy storage inverter and fan inverter, realizing micro grid connect & off-grid switch control. This device has been successfully applied in Luxi island micro power grid demonstration project, which has wide range of application in the future.

This work is supported by National High-tech R & D Program of China (863 Program) (No. 2011AA050203).

Key words: micro-grid; connect & off-grid control; grid-connected state; off-grid state

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)11-0115-06

0 引言

随着新能源在国内的大规模开发和利用, 分布式发电及其微电网技术已经成为解决偏远海岛地区、偏远地区供电问题的重要技术手段, 越来越多的受到国内外电力工作者的重视^[1-4]。特别是海岛电网^[5], 它们和主网一般通过海底电缆以弱连接方式联网, 建设微电网可以有效地提高海岛供电可靠性。

正常情况下, 微电网与主网并网运行, 称为并网模式; 当检测到电网故障或接收到调度下发的离网控制指令时微网与配网断开运行, 称为离网模式。并网到离网的切换控制为微电网控制的核心问题之一。由调度下发的离网控制指令触发的离网控制称为主动离网控制, 由于检测到主网故障, 微电网自

行离网的控制过程称为被动离网控制。

由于海岛电网的特殊性, 经常存在着并网到离网及其离网到并网的来回切换。目前, 微电网控制领域的研究中, 较多集中在并网逆变器的控制方面, 对模式转换方面的研究较少^[6-10], 更加缺乏专门的微电网模式控制器设备^[11-12], 无法保证微电网模式切换的成功率和平滑性。

鉴于上述问题, 本文研制了微电网模式控制器。该装置通过 GOOSE 通信等方式采集并网点、储能、分布式发电、负荷等微电网关键设备三遥信息, 匹配微电网运行模式, 检测到被动离网信号或者并网信号启动并离网切换控制流程, 协调微电网各个设备实现微电网并离网平滑切换控制。

1 微电网模式控制系统

微电网模式控制系统按照微电网规模的不同, 可以分成简洁配置模式和扩展配置模式两种配置。

1.1 简洁配置模式

简洁配置微电网控制系统用于规模较小的微电网，采用两层设计，如图 1 所示。

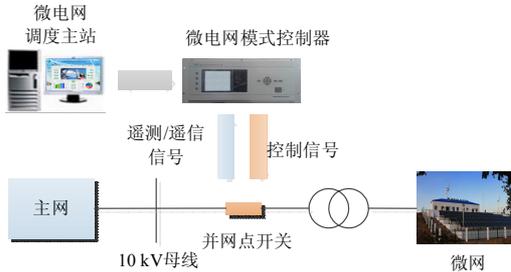


图 1 简易配置微电网模式控制系统结构

Fig. 1 Simple configuration model control system structure of micro grid

- 1) 接入控制层，微电网控制器负责所有的数据采集及其控制策略执行；
- 2) 主站层主要用于并离网命令的下发及其控制过程监视。

在简易配置模式中，本文研制的微电网模式控制器直接采集并网点、分布式发电、储能三遥信息，通过遥控开出直接控制并网点开关、储能逆变器运行模式，最终实现微电网并离网模式切换。

1.2 扩展配置模式

扩展配置微电网模式控制系统采用三层设计，如图 2 所示。



图 2 扩展配置微电网模式控制系统结构

Fig. 2 Extended configuration of micro grid mode control system structure

- 1) 接入层主要用于微电网系统中分布式发电单元、负荷单元、储能逆变器、并网点的信息采集及其控制命令的执行；
- 2) 控制层为模式控制系统的控制中枢，用于实现控制方式的决策及其控制命令的下发；
- 3) 主站层主要用于并离网命令的下发及其控

制过程监视。

在扩展配置模式中，本文研制的微电网模式控制器位于微电网模式控制系统的控制层，通过 MMS 通信接受微电网调度主站并离网控制指令，并将控制信息上送调度主站，通过 GOOSE 通信采集接入层各个单元的三遥信息，同时完成控制层控制指令下发，协调完成微电网并离网模式切换过程。

2 研制方案

2.1 硬件研发

微电网模式控制器基于 ARP 硬件平台研制。ARP 平台硬件选用目前业界可靠性、功能和处理能力最有优势的嵌入式 CPU、DSP 和大容量的 FPGA 进行设计，同时采用符合工业标准的高速以太网和 IEC 标准的数据采集的光纤通道作为数据传输链路，内部采用高可靠、高实时、高效率的数据交换接口。平台采用当今先进的高性能、高效率的 CPU、DSP、FPGA 来实现高性能的数据处理，运算处理能力更强，为微电网模式控制器开发留有较大余量。

装置硬件结构复杂度低，从而功耗较低，插件与背板采用插针设计，连接简单可靠，高电磁兼容抗干扰能力强。其结构如图 3 所示。

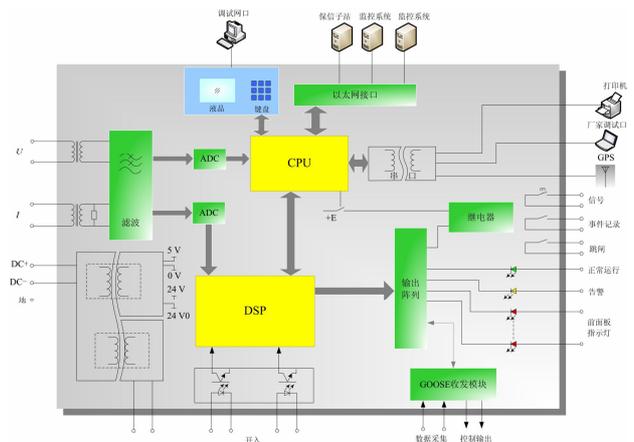


图 3 微电网模式控制器硬件结构图

Fig. 3 Micro grid pattern controller hardware structure chart

微电网模式控制器整机采用 4U 结构设计，配置 CPU 板、GOOSE 板、交流采样板、I/O 板、电源板。

CPU 板：CPU 板采用 PowerPC 加 DSP 双核。PowerPC 负责网络通信、液晶显示、串口通信、GPRS 对时、历史数据存储及其模式切换控制策略解析等功能；DSP 负责采样、保护计算及其并离网控制策略执行。

GOOSE 板：负责 GOOSE 信号收发。

交流采样板：负责遥测数据采集，通过该采集信号可以实现保护计算、被动离网检测。

I/O 板：负责各个微电网设备开关量信号输入及其控制信号硬触点输出。

2.2 软件研发

微电网模式控制器系统软件基于 ARP 软件平台研制。采用面向对象设计思想，将所有的功能模块封装成一个元件，这种设计思路具有重用性、继承性及其安全性的特点。图 4 为装置软件模块图。

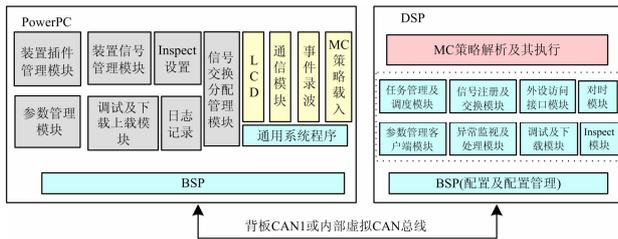


图 4 软件结构图

Fig. 4 Software structure diagram

图中 MC(mode control)：模式控制。MC 元件的软件流程图如图 5 所示。

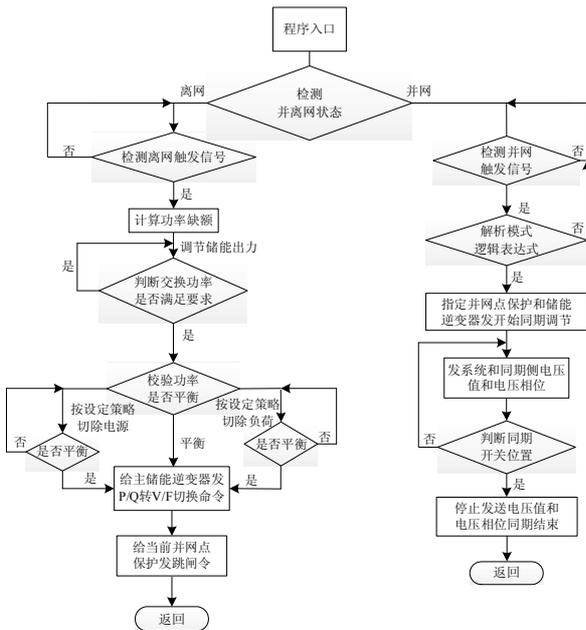


图 5 MC 元件流程

Fig. 5 MC components processes

微电网模式切换控制操作(MC)可以分成离网控制操作和并网控制操作。

离网控制流程：微电网模式控制器计算出并网点交换功率值，判断出当前微电网功率盈缺情况。如果微电网功率不平衡，则制定负荷/分布式电源的切除计划，切除某些负荷/分布式电源，使微电网功

率平衡。微电网功率平衡后，模式控制装置通过 GOOSE 报文给当前模式下的主储能逆变器发模式切换命令，使其从 P/Q 运行方式切换到 V/F 运行方式作为微电网离网运行的稳定源。并给当前并网点开关发送跳闸指令，实现并网转离网切换控制。

并网控制流程：微电网模式控制器根据给当前的主 PCS 指定系统侧和微网侧同时给当前的并网点保护发同期调节指令。主 PCS 根据系统侧电压的幅值和相位调节出力同时并网点保护实时监测是否满足同期条件，一旦满足同期条件立即同期合闸，模式控制器实时监测同期开关位置，一旦开关由分位变为合位，立即给当前主 PCS 发模式切换指令，使其由 V/F 运行模式切换到 P/Q 运行模式，完成离网转并网切换控制。

3 装置工程应用

本文研制的微电网模式控制器成功应用于浙江温州洞头鹿西岛微电网示范工程。

3.1 工程概况

鹿西岛微电网示范工程一次主接线示意图如图 6 所示，主设备清单如表 1 所示。

表 1 主设备测控点清单

Table 1 Main device control point list

序号	缩写	测控点描述
1	KG1	1#并网点开关测控点
2	KG2	2#并网点开关测控点
3	KG3	3#并网点开关测控点
4	PCS1	1#储能逆变器测控点
5	PCS2	2#储能逆变器测控点
6	PCS3	3#储能逆变器测控点
7	PCS4	4#储能逆变器测控点

鹿西岛微电网示范工程模式控制系统配置如图 7 所示。

鹿西岛微电网系统为并网型，既可以并网运行也可以孤网运行。微网模式控制系统采用三层控制结构：接入层、控制层和主站层。

1) 接入层主要完成微电网组成单元的保护与控制，测保装置与 DG 控制器实现对具体开关、线路、变压器、分布式电源、储能变流器、负荷、厂用电及直流电源系统的一体化监测、保护与控制。通过 GOOSE 网实现和微电网模式控制器通信。

2) 控制层由微网模式控制器来完成。微网模式控制器主要控制目的是在微网并网、孤岛、并离网切换时，通过对各微源的控制模式及控制参数进行设置，保证微网稳定运行。

3) 主站层由微网运行监控系统来完成，实现控制命令下发及其控制过程监视。

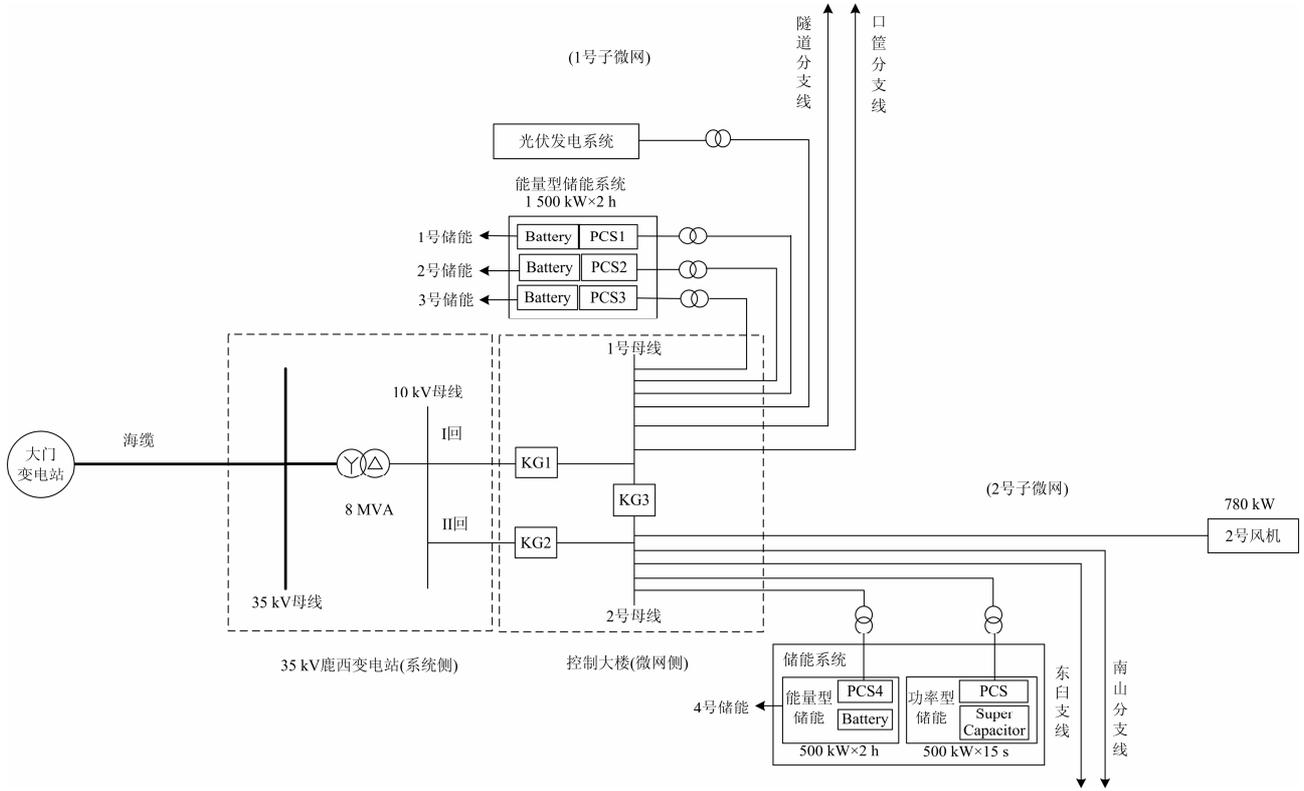


图 6 鹿西岛微电网一次主接线示意图

Fig. 6 The Luxi Island microgrid's primary connection

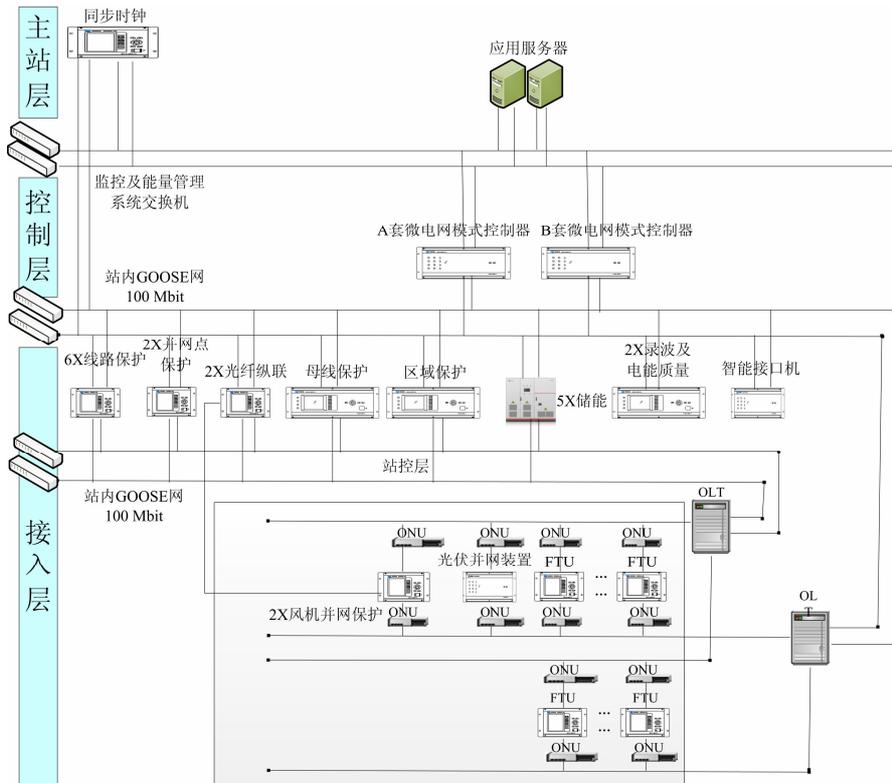


图 7 鹿西岛微电网模式系统配置图

Fig. 7 The Luxi Island microgrid system configuration diagram

3.2 并离网实验

鹿西岛微电网示范工程正式投运前进行了并离网实验, 本文根据实验数据对并离网操作过程分析如下:

1) 并网过程

并网操作前, 各个主设备运行状态如表 2 所示。

微电网模式控制器在接收到并网指令后给 KG1 保护和 PCS3 发同期调节指令, KG1 闭合后给储能逆变器发模式切换指令, 使其由 V/F 运行模式切换到 P/Q 运行模式, 完成离网转并网切换控制, 控制过程如图 8 所示。

并网后主设备运行状态如表 3 所示。

表 2 并网前主设备运行状态

Table 2 Main device state before control

序号	参数	值
1	KG1 状态	分
2	KG2 状态	分
3	KG3 状态	合
4	主 PCS	PCS3 V/F 方式运行

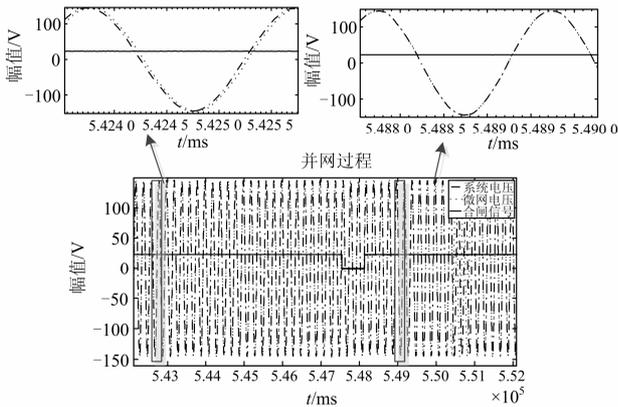


图 8 并网过程波形图

Fig. 8 Wave of synchronization

表 3 并网后主设备运行状态

Table 3 Main device state after control

序号	参数	值
1	KG1 状态	合
2	KG2 状态	分
3	KG3 状态	合
4	主 PCS	PCS3 P/Q 方式运行

2) 离网过程

离网操作前各个主设备运行状态如表 4 所示。

表 4 切换前主设备运行状态

Table 4 Main device state before control

序号	参数	值
1	KG1 状态	合
2	KG2 状态	分
3	KG3 状态	合
4	主 PCS	PCS3 P/Q 方式运行

微电网模式控制器在接收到 KG1 离网命令后, 按照该运行方式的离网控制策略, 给 PCS3 发 P/Q 转 V/F 指令, 并给当前 KG1 点保护发离网跳闸指令, 操作过程波形如图 9 所示。

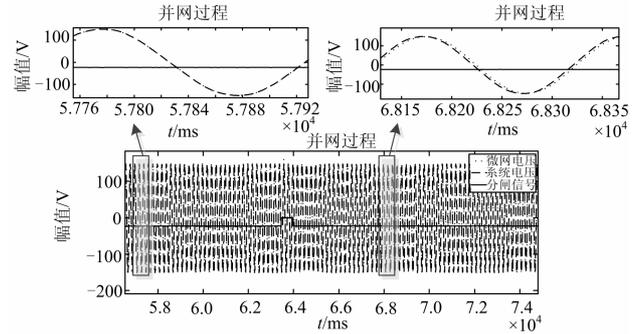


图 9 离网过程波形图

Fig. 9 Wave of off-grid

离网操作后主设备运行状态如表 5 所示。

表 5 切换后主设备运行状态

Table 5 Main device state after control

序号	参数	值
1	KG1 状态	分
2	KG2 状态	分
3	KG3 状态	合
4	主 PCS	PCS3 V/F 方式运行

从并离网操作过程可以看出, 应用微电网模式控制器的鹿西岛微电网示范工程并离网过程电压无较大范围波动, 切换过程平滑, 实现了较为理想的并离网无缝切换控制。

4 结论及展望

2014 年 1 月 21 日, 运用本文研制的微电网模式控制器的鹿西岛微电网示范工程正式投入运行。期间完成了各个运行模式下的主动离网实验、被动离网实现、同期并网实验。实验结果表明: 微电网模式控制器可以有效地提高并网转离网及其离网转并网模式切换的成功率, 降低了微电网并离网操作对用户造成的冲击, 提高了微电网运行稳定性和可靠性。

本文研制的微电网模式控制器的简洁配置模式和扩展配置模式可以良好地适用于各种规模、各种结构的微电网, 在新能源发电/微电网大规模应用的今天, 有着广阔的应用前景。

参考文献

[1] GAN D, BOURCIER D V. A single-period auction game model for modeling oligopolistic competition in pool-based electricity markets[C] // Power Engineering

- Society Winter Meeting: IEEE, 2002, 1: 101-106.
- [2] KATIRAEI F, IRAVANI M R, LEHN P W. Micro-grid autonomous operation during and subsequent to islanding process[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(1): 248-257.
- [3] 王成山, 武震, 李鹏. 微电网关键技术研究[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 1-12.
WANG Chengshan, WU Zhen, LI Peng. Research on key technologies of microgrid[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 1-12.
- [4] 袁越, 李振杰, 冯宇, 等. 中国发展微网的目的方向前景[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(1): 59-63.
YUAN Yue, LI Zhenjie, FENG Yu, et al. Development purposes, orientations and prospects of microgrid in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(1): 59-63.
- [5] 张先勇, 舒杰, 吴昌宏, 等. 一种海岛分布式光伏发电微电网[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(10): 55-61.
ZHANG Xianyong, SHU Jie, WU Changhong, et al. Island microgrid based on distributed photovoltaic generation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(10): 55-61.
- [6] 苏虎, 曹炜, 孙静, 等. 基于改进下垂控制的微网协调控制策略[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(11): 92-98.
SU Hu, CAO Wei, SUN Jing, et al. Micro-grid coordinated control strategy based on improved droop control[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(11): 92-98.
- [7] 盛建科, 曾嵘. 新能源分布式发电系统并网与离网运行的柔性切换技术[J]. 功率变流技术, 2012(2): 30-34.
SHENG Jianke, ZENG Rong. Flexible switching technology of new energy distributed generation system while connecting and disconnecting to the grid[J]. High Power Converter Technology, 2012(2): 30-34.
- [8] 张玉治, 张辉, 贺大为, 等. 具有同步发电机特性的微电网逆变器控制[J]. 电工技术学报, 2014, 29(7): 261-268.
ZHANG Yuzhi, ZHANG Hui, HE Dawei, et al. Control strategy of micro grid converters with synchronous generator characteristic[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(7): 261-268.
- [9] 王玉斌, 王广柱. 基于开关电容技术的新型交流 PWM 开关及其在微电网模式切换中的应用[J]. 电工技术学报, 2011, 26(12): 211-215.
WANG Yubin, WANG Guangzhu. New type AC PWM switch and its microgrid mode-transfer application based on switched capacitor technology[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(12): 211-215.
- [10] 邱麟, 许烈, 郑泽东, 等. 微电网运行模式平滑切换的控制策略[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 171-176.
QIU Lin, XU Lie, ZHENG Zedong, et al. Control method of microgrid seamless switching[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 171-176.
- [11] 杨恢宏, 余高旺, 樊占峰, 等. 网系统控制器的研发及实际应用[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(19): 126-129, 140.
YANG Huihong, YU Gaowang, FAN Zhanfeng, et al. The development and application of micro-grid system controller[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(19): 126-129, 140.
- [12] 张新昌. 微电网运行控制解决方案及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(10): 141-146.
ZHANG Xinchang. Solution and application of micro-grid operation control[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(10): 141-146.

收稿日期: 2014-09-03; 修回日期: 2014-10-20

作者简介:

陈娜(1986-), 女, 硕士, 研究方向为微电网运行控制; E-mail: chenna@sgepri.sgcc.com.cn

王劲松(1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向为微电网保护控制。

(编辑 魏小丽)