

DOI: 10.7667/PSPC151070

## 基于 B/S 架构的分布式电源并网监控系统设计

王辉<sup>1</sup>, 王敬华<sup>1,2</sup>, 徐丙垠<sup>1,2</sup>, 王瑶瑶<sup>3</sup>, 李浩田<sup>3</sup>

(1. 山东理工大学智能电网研究中心, 山东 淄博 255049; 2. 山东科汇电力自动化股份有限公司, 山东 淄博 255087; 3. 国网山东省电力公司淄博供电公司, 山东 淄博 255000)

**摘要:** 为提高 DER 并网运行的可靠性和经济性, 设计了一套基于 B/S 架构的分布式电源并网监控系统。针对家庭式 DER 监控灵活性较差这一问题, 进行了监控平台的设计、Boa 服务器与 CGIC 标准库的移植, 在此基础上建立了 Mini SQL 嵌入式数据库和编写了 Web 界面。该监控系统采用 B/S 架构, 能够节约监控主站与专用网络的建设成本, 在保障 DER 安全可靠运行的同时可将运行参数直观地显示在 Web 界面。最后在分布式电源并网工程技术研究中心进行试验, 结果表明该系统能够有效地监控分布式电源并网运行。

**关键词:** 分布式电源; 并网监控; B/S 架构; Boa 服务器; 嵌入式数据库

### Design on monitoring system of distributed electric resources based on B/S structure

WANG Hui<sup>1</sup>, WANG Jinghua<sup>1,2</sup>, XU Bingyin<sup>1,2</sup>, WANG Yaoyao<sup>3</sup>, LI Haotian<sup>3</sup>

(1. Research Centre for Smart Grid, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China; 2. Shandong Kehui Power Automation Company Limited, Zibo 255087, China 3. Zibo Power Supply Company, State Grid Shandong Electric Power Company, Zibo 255000, China)

**Abstract:** In order to improve the reliability and economy of DER grid-connected operation, a DER monitoring system is designed based on B/S framework. To resolve the less flexibility of family-der monitoring system, this paper designs the monitor platform, and transplants Boa server and the CGIC standard library. On these basis, the Mini SQL embedded database and Web interface are set up. The monitoring system using B/S framework can save construction cost of master station and private network, ensure DER reliability and display information in Web interface. In the end, this monitoring system is tested in Engineering Research Center for DER grid-connected. The results show that DER grid-connected operation can be monitored effectively by this monitoring system.

This work is supported by National High-tech R & D Program of China (863 program) (No. 2012AA050213).

**Key words:** distributed electric resources; grid-connected monitoring; B/S framework; Boa server; embedded database

## 0 引言

目前电网架构通常以大机组、高电压、集中式为主, 某一节点出现故障会影响整个电网的安全运行。智能配电网的提出, 特别是支持分布式电源 (Distributed Electric Resources, DER) 的大量接入, 可弥补大电网运行模式的不足<sup>[1-3]</sup>。DER 受自然因素影响较大, 具有明显的波动性和间歇性。DER 的大量接入会给电力系统调峰调频、并网控制、运行调度、功率预测、供电质量等带来挑战<sup>[4-6]</sup>。目前较为常用的做法是通过计算配电线路的承载能力, 限制 DER 的并网容量, 这违背了 DER 发展初衷。

针对 DER 并网, 相关工作者做出了大量研究。文献[7]提出了一种依赖通信网络和监控主站的集中式监控模式。文献[8]提出了一种依赖 GPRS 通信网络的集散控制方案。文献[9]和文献[10]提出了基于多 Agent 监控模式。这几种监控模式虽然能够对 DER 安全运行起到良好的监控作用, 然而存在投资过大, 性价比低, 互动性差, 不适用于家庭式小容量的 DER 并网监控。目前家庭式 DER 并网系统通常不加监控装置, 主要由并网逆变器或公共连接点 (Point of Common Coupling, PCC) 自身的计量保护装置代替, 这为 DER 的大量并网埋下了安全隐患。

针对上述问题, 本文设计了一套基于 B/S 架构的分布式电源并网监控系统。通过监控平台的设计, Boa 服务器与 CGIC 标准库的移植, 开发了 Mini

SQL 嵌入式数据库和编写 Web 界面,建立了家庭式的分布式电源并网监控系统。该监控系统采用 Web 访问方式,通过客户端浏览器直接监控分布式电源运行,省去监控主站、子站及专用通信网络建设,增强了监控系统的灵活性和经济性。为虚拟发电厂(Virtual Power Plant, VPP)运行模式做好铺垫,对分布式电源并网发展起到促进作用。

## 1 监控系统体系结构

在设计基于 B/S 架构的 DER 并网监控系统时,参照了基于 IEC61850 标准的智能变电站设计原则<sup>[1]</sup>,结合 Web 访问特点,将智能变电站的体系结构删减后应用于该监控系统。智能变电站的过程层、间隔层、站控层分别对应于该监控系统的物理设备层、Web 功能层、Web 监控层。基于 B/S 架构的分布式电源并网监控系统体系结构如图 1 所示。



图 1 监控系统体系结构图

Fig. 1 Structure of monitoring system

### 1.1 物理设备层

监控系统的底层为物理设备层,主要包括 DER 并网系统的一次设备。如分布式光伏发电并网 PCC, 分布式风力发电并网 PCC, 蓄电池、超级电容器等储能系统的能量输出点以及小型燃气轮机并网电能输出点等,也包括并网系统的断路器和隔离开关等设备。物理设备层可为 Web 功能层提供在线物理监测载体,也可以执行上一层发送给开关的执行命令,如断路器的遥信变位。

### 1.2 Web 功能层

监控系统的中间层为 Web 功能层。用于对物理设备层的数据量和状态量进行采集与控制。主要功能有:测量单元、控制单元、保护单元、计量单元、状态监测单元、事件顺序记录单元、历史数据单元、故障录波单元、孤岛监测单元。测量单元用于 DER 并网系统的电压、电流和功率测量以及对操作开关和储能系统充放电状态信号采集;控制单元接受 Web 监控层的遥信变位信息对相关设备进行操作控制;保护单元提供 DER 并网运行的保护信息,保障系统的安全可靠运行;计量单元用于提供一段时间内 DER 的发电量信息;状态监测单元用于提供并网

系统的运行状态,监测系统是否处于不安全运行状态、故障状态和正常运行状态;事件顺序记录单元用于记录一段时间内断路器的遥信变位顺序记录;历史数据记录单元提供分布式电源发电量和盈利水平;故障录波单元记录系统发生故障时电气参数和波形,用于故障分析;孤岛监测单元能够在主网故障时对 DER 进行快速切除,保障检修人员人身安全。Web 功能层各单元由相应算法通过程序实现,用于完成各项功能。

### 1.3 Web 监控层

监控系统的最高层为 Web 监控层,是该监控系统的核心。主要作用是将 Web 功能层提交的信息通过 Boa 服务器和 CGIC 标准库发布在 Web 界面上,将运行数据保存在 Mini SQL 嵌入式数据库中,同时提供 DER 运行的人机操作接口。服务器通过主函数调用相关应用程序来实现数据共享和进程通信,避免了复杂的通信规约转化,满足低成本的特点。具有权限的用户可连接监控平台 IP 地址查看 DER 并网运行参数。管理者拥有所有权限,可以设置安全权限。普通用户只需拥有相关权限,便可随时随地通过联网的 PC 机、平板电脑、智能手机等移动终端的浏览器来访问该 DER 并网监控系统。

## 2 监控平台分析与设计

监控系统采用浏览器到监控平台的直接访问。监控平台内部集成数据采集、信号处理、量测与保护等模块实现对 DRE 的并网监控。监控平台搭载  $\mu\text{Linux}2.6$  实时多任务操作系统,采用 ARM 嵌入式架构。内部包含高性能数字信号处理器(DSP)、32 位 RISC 微处理器(MCU)、大规模现场可编程逻辑阵列(FPGA)等<sup>[12]</sup>。考虑到硬件之间电磁兼容,该监控平台采用模块化设计,主要分为 CPU 模块、I/O 模块和数据库模块。其结构如图 2 所示。

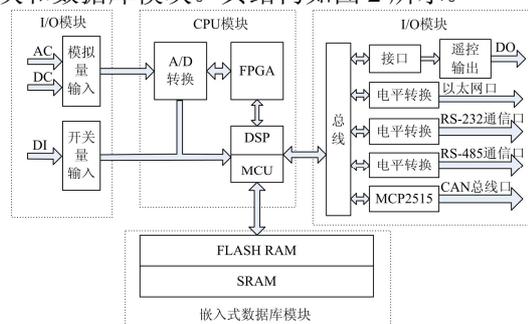


图 2 监控平台模块图

Fig. 2 Modules of monitoring system

### 2.1 CPU 模块

CPU 模块是监控平台的核心,对整个监控系统

起着决定性作用，由高性能处理器与辅助硬件构成<sup>[13]</sup>。主要包括 A/D 转换电路、MCU 与 DSP、FPGA 芯片、FLASH RAM。A/D 转换采用 16 位高速 A/D 转换器，采样周期为 128 点/周波，时钟频率为 40 MHz，带通转换能力为 1.23 MHz；MCU 用于协同整个硬件系统和进程控制；高性能 DSP 用于模拟量运算。MCU 与 DSP 选用 Blackfin 微处理器芯片，该芯片采用由 AD 和 INTEL 公司联合开发的微信号架构 (Micro Signal Architecture, MSA)，集成 32 位 RISC 型指令集，主频可达 756 MHz。FPGA 芯片用于程序开发，确定系统时序，多路选择控制和模拟量转换。处理器系统可将配置方式字、系统自检程序、中断现场以及配置数据保存于 FLASH RAM 芯片中，保障数据的快速交换。

### 2.2 I/O 模块

I/O 模块主要包括输入系统与输出系统。输入系统包含 13 路 AC 模拟量采集，2 路 DC 量采集与 24 路状态量输入。其中 AC 模拟量为 6 路电压与 7 路电流，经互感器隔离、低通滤波处理后进入多路转换开关，由 FPGA 选择 AC 模拟量中的一路进入 16 位高速 A/D 转换器，经 A/D 转换后的数字量进入 Blackfin 微处理器。DC 量采集为可校正的 0 V 参考地电压与 5 V 正参考电压，用于监控平台的漂移补偿与整点校验。状态量输入包括 8 路内部触点与 16 路外部触点。内部触点用于硬件系统的状态监视与保护，外部触点可供外部 DC 量输入。输出系统包含状态量输出与通信模块。状态量输出包括 3 路操作前选择和 2 路直接操作。通信模块用于监控平台通信和调试，包括以太网通信模块与串口模块。以太网通信模块设置 RJ-45 接口，用于监控平台与工业以太网互联。串口模块包括 RS485、RS323 接口与 CAN 接口，采用 IEC 60870-5-103 规约，用于监控平台调试和维护。通信模块的核心是一个时钟循环，采用双口并行设计，在每个循环周期中，保证信号的上行下行独立传输。

### 2.3 数据库模块

数据库模块采用 FLASH RAM 和 SRAM 的存储硬件，除了保存配置数据，该模块还采用嵌入式数据库技术。嵌入式数据库是一种安装在嵌入式设备中可单独运行的微型数据库系统，满足易于维护、强壮性、小巧性和可移植性等特点<sup>[14]</sup>。该嵌入式数据库系统采用 Mini SQL 嵌入式数据库，支持 Linux 操作系统的微内核结构，可从官方网站直接下载。具有移植性强、支持 API 程序和 SQL92 子集开发接口等特点，满足家庭式 DER 并网监控系统需求。嵌入式数据库系统流程如图 3 所示。

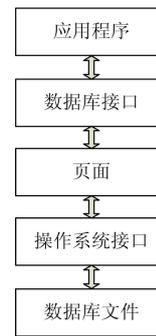


图 3 嵌入式数据库流程图

Fig. 3 Flow chart of embedded database

## 3 监控系统应用开发

基于 B/S 架构的分布式电源并网监控系统，以  $\mu$ Linux2.6 监控平台作为硬件基础，以 Boa 服务器和 CGIC 标准库作为 Web 服务器，以 Mini SQL 嵌入式数据库作为存储单元。该监控系统采用 B/S 架构，通过任意一台联网的 PC 机、平板电脑等移动设备的浏览器输入正确的 IP 地址，经过用户名和密码的匹配检测，可实现对 DER 的并网监控。

### 3.1 Boa 服务器

家庭式 DER 并网监控系统，通常具有较小的 Web 访问量。基于这个特点，在比较了几种常用的嵌入式 Web 服务器后，选择 Boa 作为该监控系统的服务器，可以满足速度和安全的需要。Boa 服务器可运行于 Unix 和 Linux 操作系统平台上，是一种支持单任务的精简型嵌入式 Web 服务器，具有源代码开放、性能优秀、支持 CGI 程序的特点<sup>[15-16]</sup>。Boa 服务器工作流程如图 4 所示。

#### (1) Boa 服务器的移植

Boa 服务器的移植包括以下四个步骤。

步骤一：Boa 服务器的源代码可从其官方网站 <http://www.boa.org/> 免费下载，目前版本更新到 0.94.13。下载源代码后，进入 src 子目录，运行命令如下：

```
# tar xzf boa-0.94.13.tar.gz
# cd boa-0.94.13/src
```

步骤二：在源代码 src 目录文件下运行配置文件 ./configure，运行命令如下：

```
# ./configure
```

步骤三：修改 Makefile 文件，结合  $\mu$ linux2.6 内核，修改交叉编译器内容，修改内容如表 1 所示。

表 1 Boa 服务器修改项

Table 1 Modification of Boa server

修改前	修改后
CC=gcc	CC=bfin-uclinux-gcc
CPU=gcc-E	CPU=bfin-uclinux-gcc-E

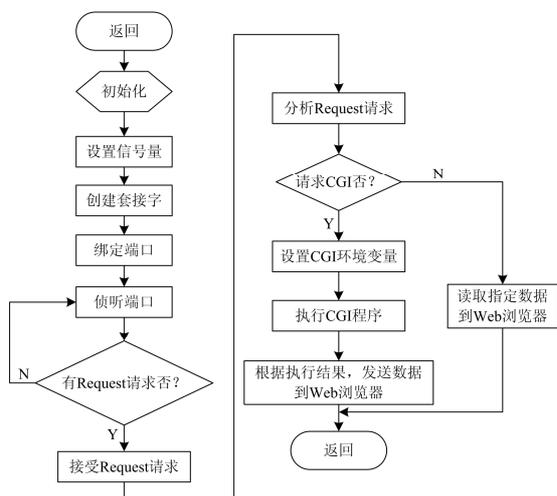


图 4 Boa 服务器工作流程图  
Fig. 4 Flow chart of Boa server

步骤四：根据 Makefile 文件内容，运行 make 命令，裁剪冗余代码，可得到大约 60 KB 的 Boa 可执行程序。运行命令如下：

```
# make
# bfin-uclinux -strip boa
(2) Boa 服务器的配置
```

为使 Boa 服务器可支持 CGI 程序，需对服务器进行配置。boa.conf 是 Boa 服务器的配置文件，根据源代码中配置文件的格式，结合 μclinux2.6 内核，对其进行修改。

(3) Boa 服务器的测试

移植和配置好 Boa 服务器之后，需要对其性能进行测试。通常的做法是采用网络文件系统，通过客户端访问服务器，使测试主机的配置文件在 Boa 服务器上生效。将静态普通测试界面 test.html 置于 /mnt/etc/var/www 目录下；将监控平台 IP 地址设置为 172.16.6.66，连接到局域网中；通过该局域网中任意一台 PC 的浏览器按 http://172.16.6.66/test.html 网址来测试，显示静态普通网页测试通过，则 Boa 服务器移植成功。

3.2 CGIC 标准库

CGI(Common Gate Interface)可以运行在 Boa 服务器上，提供 Web 动态界面访问接口。CGIC 是一个支持 CGI 的开源标准 C 语言函数库，支持 Linux, Unix 和 Windows 等多操作系统。其下载地址为：www.boutell.com/cgic/，目前最新版本是 2.06。借用 CGIC 函数库，可高效地开发应用程序。基于 CGIC 函数库的交互式操作，在满足权限的基础上，可在任何一台 PC 或移动终端监控分布式电源运行。CGI 程序工作过程如图 5 所示。

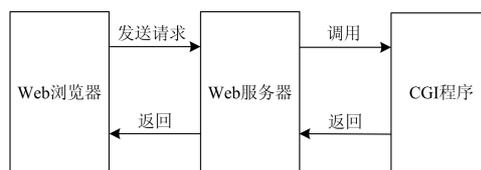


图 5 CGI 工作过程图  
Fig. 5 Processes of CGI

(1) CGIC 标准库的移植

CGIC 标准库的移植包括以下三个步骤。

步骤一：在 CGIC 标准库的官方网站下载源代码，解压后运行如下命令：

```
# tar xzf cgic206.tar.gz
# cd cgic206
```

步骤二：修改 Makefile 文件。结合 μclinux2.6 内核，修改交叉编译器内容，修改内容如表 2 所示。

表 2 CGIC 标准库修改项

Table 2 Modification of CGIC

修改前	修改后
CC=gcc	CC=bfin-uclinux-gcc
AR=ar	AR=bfin-uclinux-ar
gcc cgictest.o-o	\$(CC) \$(CFLAGS)cgictest.o-o cgictest.cgi
cgictest.cgi \${LIBS}	\$(LIBS)
gcc capture.o-o capture	\$(CC) \$(CFLAGS) capture.o-o capture
\$(LIBS)	\$(LIBS)

步骤三：根据 Makefile 文件内容，运行 make 命令，得到 CGIC 标准库 libcgic.a。

(2) CGIC 标准库的配置

CGIC 标准库的配置与 Boa 服务器配置类似，配置后能够使 Boa 服务器支持 CGI 程序。

(3) CGIC 标准库的测试

移植和配置好 CGIC 标准库之后，需要对其性能进行测试。测试方法与 Boa 服务器移植测试相近。将动态脚本测试文件 test.cgi 置于 cgi-bin/目录下；将监控平台 IP 地址设置为 172.16.6.66，连接到局域网中；通过该局域网中任意一台 PC 的浏览器按 http://172.16.6.66/cgi-bin/test.cgi 网址来测试，显示动态脚本测试通过，则 CGIC 标准库移植成功。

3.3 Web 界面建立

Web 界面是通过 HTML 语言编写成的页面及内建表单。主界面包括测量单元、控制单元、保护单元、计量单元、状态监测单元、事件顺序记录单元、历史数据单元、故障录波单元、孤岛监测单元选项卡，进入之后可查看相关运行数据。Web 访问的一个很重要的特点是将后台逻辑程序与界面显示相分离，可以使 Boa 服务器处理的结果直观显示在 Web 页面上。通过 Boa 服务器与 CGIC 标准库能够

方便监视和控制分布式电源并网监控系统。Web 界面逻辑如图 6 所示。

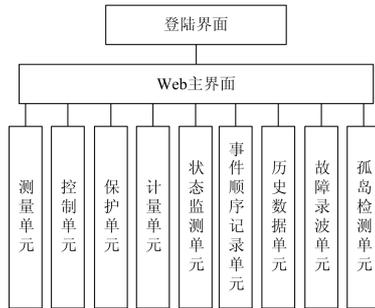


图 6 Web 界面逻辑图

Fig. 6 Logic of Web interface

### 3.4 监控系统实现过程

基于 B/S 架构的分布式电源并网监控逻辑如图 7 所示。以嵌入式监控平台为基础，移植 Boa 服务器和 CGIC 标准库，构建 Mini SQL 数据库，编写 CGI 接口程序，建立 Web 界面。

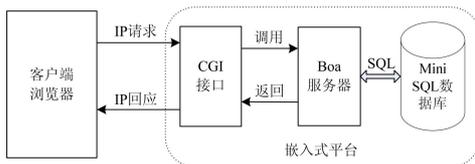


图 7 监控示意图

Fig. 7 Schematic diagram of monitoring system

(1) 在客户端，用户可通过浏览器输入正确的 IP 地址来访问监控系统，经用户名和密码匹配后，分布式电源并网运行参数以 Web 页面和表单的形式显示在浏览器上。Web 页面提供客户端与服务器进行交互机制的人机接口。

(2) 在服务器端，监测单元采集分布式电源运行数据和状态，交由 Boa 服务器处理并将运行参数保存在 Mini SQL 嵌入式数据库中；CGI 程序建立客户端与 Boa 服务器的连接，快速处理客户端发来的 IP 请求；Boa 服务器处理后把结果交给 CGI 接口生成新的页面，以 IP 回应的方式将并网运行参数显示在客户端 Web 界面上。

(3) Mini SQL 嵌入式数据库中存储分布式电源运行数据。在监控系统中建立 Monitor.db 数据库，该数据库中配置两个表，一个是监控项目表，一个是监控数据状态表。Web 服务器通过 CGI 程序访问嵌入式数据库，项目数据以 Web 表单的形式呈现。

## 4 试验验证

为了对设计的分布式电源并网监控系统进行验证，在分布式电源并网工程技术研究中心安装了

基于该原理的监控系统。分布式电源并网参数如表 3 所示。

表 3 分布式电源参数

Table 3 Figures of distributed electric resources

项目	数据
并网容量	30 kW
并网电压	0.4 kV
防雷汇流箱	2 台
逆变器	2 台
交流配电柜	1 台
环境监测仪	1 套
防逆功率装置	1 套

在该分布式电源并网系统安装并调试该监控系统。为节约申请 IP 的成本，将监控平台 IP 设为内网地址 172.16.6.66；并使客户端 PC 和移动终端的 IP 与监控平台 IP 处于同一局域网内。PC 或移动终端连接监控系统，经用户权限检测，将分布式电源并网运行参数和状态直观显示在浏览器界面。远程查看某 Web 界面实测数据如表 4 所示。

表 4 监控系统实测数据

Table 4 Figures of monitoring system

项目	数据
并网电压	240 V
并网电流	40 A
功率	17 762 W
日发电量	80.7 kWh
总发电量	2 412.8 kWh
运行时间	21 364 min
运行状态	正常

Web 界面可监视分布式电源并网监控系统的运行，同时提供控制分布式电源运行的人机接口。运行结果表明，该系统能够很好地监控分布式电源并网运行，通过网络将运行参数呈现给远程客户端。

## 5 结语

本文设计了一套基于 B/S 架构的分布式电源并网监控系统。该监控系统采用分层次设计，模块化开发，解决了家庭式 DER 保护系统灵活性较差这一问题，实现了客户端浏览器到监控平台的直接监控。省去监控主站、子站及专用通信网络的建设，确保监控系统的灵活性和经济性；在投资较小的前提下满足对分布式电源并网监控的要求，方便用户随时随地查看运行状态，保障 DER 的安全可靠运行。为 DER 参与的 VPP 模式做好铺垫，对智能配电网中分布式电源并网的发展起到促进作用。

## 参考文献

[1] 吕忠, 周强, 蔡雨昌. 含分布式电源的 DEIWO 算法配电

- 网无功优化[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(4): 69-73.  
LÜ Zhong, ZHOU Qiang, CAI Yuchang. Reactive power optimization in distribution network with distributed generation on DEIWO algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(4): 69-73.
- [2] 沈沉, 吴翔宇, 王志文, 等. 微电网实践与发展思考[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(5): 1-11.  
SHEN Chen, WU Xiangyu, WANG Zhiwen, et al. Practice and rethinking of microgrids[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(5): 1-11.
- [3] 刘仲, 牟龙华, 杨智豪. 大停电后含分布式电源的电网分区及负荷恢复方案[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 55-61.  
LIU Zhong, MU Longhua, YANG Zhihao. Scheme for partitioning and load restoration of power grid containing distributed generation after blackout[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 55-61.
- [4] 沈鑫, 曹敏. 分布式电源并网对于配电网的影响研究[J]. 电工技术学报, 2015, 30(增刊 1): 346-351.  
SHEN Xin, CAO Min. Research on the influence of distributed power grid for distribution network[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 30(S1): 346-351.
- [5] 张勇军, 苏杰和, 羿应棋. 基于区间算术的含分布式电源电网无功优化方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(15): 21-26.  
ZHANG Yongjun, SU Jiehe, YI Yingqi. Reactive power optimization based on interval arithmetic with distributed power grid[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(15): 21-26.
- [6] 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]. Proceedings of the CSEE, 2014, 29(2): 1-12.
- [7] 杨永标, 王双虎, 王余生, 等. 一种分布式电源监控系统设计方案[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(9): 125-128.  
YANG Yongbiao, WANG Shuanghu, WANG Yusheng, et al. Design scheme for monitoring system of distributed power generation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(9): 125-128.
- [8] 李玲, 王欢欢, 谢利理. 基于集散控制的分布式电源并网监控系统研究[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(3): 580-585.  
LI Ling, WANG Huanhuan, XIE Lili. Research of grip connection monitor system of distributed power supply based on distributed control system[J]. Computer Measurement & Control, 2010, 18(3): 580-585.
- [9] 郭红霞, 吴捷, 康龙云, 等. 基于多智能体的分布式发电系统协调优化[J]. 控制理论与应用, 2012, 29(2): 235-239.  
GUO Hongxia, WU Jie, KANG Longyun, et al. Coordinated optimization of distributed hybrid generation system based on multi-agent system[J]. Control Theory & Applications, 2012, 29(2): 235-239.
- [10] 蒲天骄, 刘克文, 李焯, 等. 基于多代理系统的主动配电网自治协同控制及其仿真[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(8): 1864-1874.  
PU Tianjiao, LIU Kewen, LI Ye, et al. Multi-agent system based simulation verification for autonomy-cooperative optimization control on active distribution network[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(8): 1864-1874.
- [11] UIZ-ALVAREZ A, COLET-SUBIRACHS A, ALVAREZ-CUEVAS FIGUEROLA F, et al. Operation of a utility connected microgrid using an IEC 61850-based multi-level management system[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(2): 858-856
- [12] 徐丙垠, 薛永端, 李天友, 等. 智能配电网广域测控系统及其保护控制应用技术[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(18): 2-9.  
XU Bingyin, XUE Yongduan, LI Tianyou, et al. A wide area measurement and control system for smart distribution[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(18): 2-9.
- [13] 黄震, 江泰廷, 张维锡, 等. 具有自适应电流速断保护功能的配电线路保护监控装置研制[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(5): 109-114.  
HUANG Zhen, JIANG Taiting, ZHANG Weixi, et al. Distribution line protection and supervisory control device with adaptive instantaneous current protection function[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(5): 109-114.
- [14] 史恒亮, 白光一. 嵌入式数据库的现状和发展趋势[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(2): 205-208.  
SHI Hengliang, BAI Guangyi. Current situation and development trend of embedded database[J]. Computer Systems & Applications, 2010, 19(2): 205-208.
- [15] 曹玲芝, 石军, 栾娟. Boa 源码分析及其在嵌入式系统中的应用[J]. 计算机与数字工程, 2005, 33(6): 10-22.  
CAO Lingzhi, SHI Jun, LUAN Juan. Boa source code analysis and its application in embedded system[J]. Computer & Digital Engineering, 2005, 33(6): 10-22.
- [16] 王庆辉, 冯振国. Web 服务器 Boa 在 BF561 上的移植及其应用[J]. 控制工程, 2009, 16(增刊 2): 74-76.  
WANG Qinghui, FENG Zhenguo. Translation of Web server Boa and its application[J]. Control Engineering of China, 2009, 16(S2): 74-76.

收稿日期: 2015-06-26; 修回日期: 2015-12-11

作者简介:

王辉(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向为分布式电源并网; E-mail: wanghui\_1013@163.com

王敬华(1972-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为分布式电源运行, 配电网自动化; E-mail: wangjh@kehui.cn

徐丙垠(1961-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为智能配电网, 配电网自动化, 电力系统故障监测。

E-mail: xuby@vip.163.com

(编辑 周金梅)