

分布式发电环境下的嵌入式电力 负荷管理系统设计与实现

裴 玮^{1,2}, 邓 卫^{1,2}, 孔 力¹, 齐智平¹, 盛 鹏^{1,2}

(1. 中国科学院 电工研究所, 北京 100080; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100080)

摘要:把分布式电源作为一个可控负荷,通过设计新型嵌入式管理终端,将传统的电力负荷管理终端和新的分布式电源监控相结合,把分布式电源纳入配电网自动化系统的负荷管理,并实现分布式电源和负荷的本地监控。设计并完成嵌入式管理终端和本地监控中心的软硬件开发:接入点测控单元以 DSP TMS320F2407 为核心,实现对接入点的遥测、遥信、遥控、网络通信等功能;嵌入式管理终端以 AT91RM9200 处理器为核心,包括下层通信、上层通信、负荷管理、远方抄表、电能量分析、发电管理、分布式电源接入点管理等功能模块;本地监控中心软件分为前置处理、实时数据服务、历史数据库以及人机交互界面。通过搭建实验测试平台证明该系统满足可靠、规范的通信、控制管理,与现有系统兼容等需求。

关键词:分布式电源; 负荷管理终端; 嵌入式系统; 以太网; ARM 平台

中图分类号: TM 73 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-6047(2007)10-0083-04

随着分布式电源(DG)渗透入低压配网,配电网自动化管理系统^[1-5]同时也需要对分布式电源进行监控。对于配电网中大部分的分布式电源而言,其目的主要是能量联供、削峰,保证重要负荷供电等,其容量通常均小于本地负荷。在此,在现有电力负荷管理系统基础上,提出一种在分布式电源环境下的嵌入式电力负荷管理系统。把分布式电源作为一个可控负荷,通过设计新型嵌入式管理终端,将传统的电力负荷管理终端和分布式电源监控相结合,同时管理负荷和电源,将其纳入配网自动化系统的负荷管理,并且实现分布式电源和负荷的本地监控。设计并完成嵌入式管理终端和本地监控中心的软硬件开

发,利用已有的数字电能表和断路器等成熟产品和通信模块,完成整个嵌入式电力负荷管理系统平台的建立,验证了系统的可行性和有效性。

1 总体设计方案

系统结构分为 3 层,如图 1 所示,从上至下分别为系统管理层、现场管理层和现场设备层。

1.1 系统管理层

系统管理层包括远方的配网自动化中心和现场的本地监控中心(如楼宇自动化中心、工厂自动化中心等)。配网自动化系统对配网管理的主要任务包括配网运行管理、运行计划、维修管理以及用户管理控制。在带有分布式电源设备的配网,配网自动化系统除实现传统的运行管理之外,需要对分布

收稿日期:2006-12-20;修回日期:2007-04-02
基金项目:国家高技术研究发展计划(863)(2006AA05Z246)



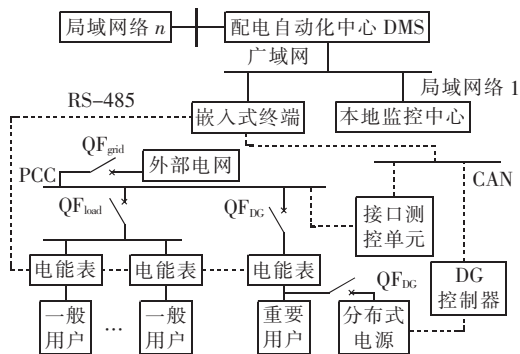


图 1 系统设计方案

Fig.1 System structure

式电源进行监控,实现在配网维修、故障、扰动等情况下分布式电源的切除,在具备并网条件的情况下允许分布式电源并网,并实现对分布式电源发电计划的制定和优化等功能。而本地控制中心主要任务是实时监控分布式电源运行情况,在分布式电源本身发生故障等情况迅速将其切除,保证分布式电源安全运行;同时调节本地电能质量,并根据发电计划与本地的热、冷等供应协调运行等[6-7]。

1.2 现场管理层

现场管理层由嵌入式用户管理终端组成,嵌入式用户管理终端是底层数字电能量表与顶层管理中心之间的连接枢纽与桥梁。它一方面负责接收管理层控制中心指令,另一方面负责指令的处理、编码、发送及各种电力负荷控制算法的执行等;同时,终端通过串口连接数字电能量表,实现对其所控节点的电能量采集,并通过网络送到系统管理层服务器。终端扩展人机接口,当上层网络出现问题时,可直接对嵌入式终端进行设置和控制。同时,交换机还可将各种故障信息传给监控中心,以便维修人员检修设备[8-9]。

1.3 现场设备层

现场设备层包括数字电能量表、分布式电源及其控制器、分布式电源接入点测控单元以及保护开关等。数字电能量表实现对用户端计量,以 RS-485 通信的方式抄表,能统计电压越限时间和电压合格率,及时发现计量故障如电量飞走、停走、超差及时钟异常、电池欠压等信息。分布式电源控制器根据管理层指令控制分布式电源同步并网,并根据给定的控制模式和参考值实现对分布式电源的控制。分布式电源的一次能源形式多样,包括太阳能、风能、天然气等,因此分布式电源控制器并不尽相同。分布式电源并网运行需要符合并网标准,目前国际通行的有 IEEE1547 标准,因此需通过测控单元监控分布式电源并网接入点,确认分布式电源接入点符合标准。

1.4 网络分层

围绕嵌入式终端形成了 2 层网络。

a. 现场管理层与系统管理层之间的网络层。现场管理层的嵌入式管理终端采用标准 TCP/IP 工业以太网协议实现与本地监控中心之间的通信,并连接至专用光纤网络与远方配网自动化中心通信。

b. 现场设备层与现场管理层之间的网络层。由于各控制器互相之间可能有相当距离,且各节点数据

量大,要求强实时性和高可靠性,因此在现场设备层的各个 DG 控制器、接口测控单元与现场管理层之间的通信方式选用 CAN 总线方式。CAN 总线是一种高可靠性、分布式实时控制的串行通信网络,目前已广泛用于工厂、楼宇以及变电站自动化等方面[10-11]。

目前的数字电能表通常通过 RS-485 通信接口实现抄表,各大公司的保护开关通常也可通过基于 Modbus 协议的 RS-485 总线进行通信,故现场设备层的数字电能表、保护开关与现场管理层之间通过 RS-485 通信实现集中抄表和负荷控制等功能。

2 硬件设计

2.1 接入点测控单元

接入点测控单元以 TI 公司 DSP TMS320F2407 为核心[12],实现对接入点的遥测、遥信、遥控、网络通信等功能。其硬件框图如图 2 所示。

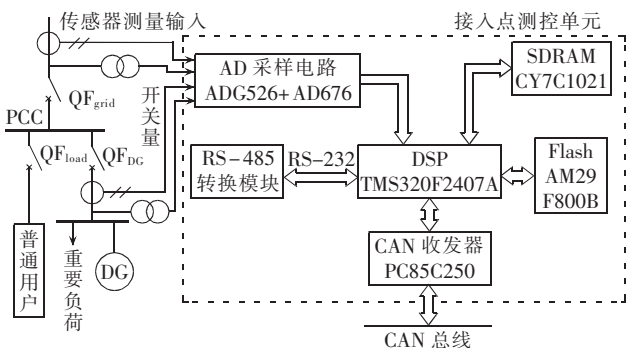


图 2 接入点测控单元硬件框图

Fig.2 Hardware block diagram of data acquisition and control unit

遥测采用交流采样,通过 AD676 完成 AD 转换。由于 AD676 为单路输入,因此配置模拟多路开关芯片 ADG526 用于通道切换。与保护开关等的 RS-485 通信通过 RS-485 模块转接至 DSP 的 RS-232 串口上。与嵌入式管理终端的 CAN 通信接口由 CAN 收发器 PC85C250 完成。

2.2 嵌入式管理终端

嵌入式管理终端以 Atmel 公司的 AT91RM9200 处理器为核心,其硬件结构框图如图 3 所示。

AT91RM9200 基于 ARMv4T 架构,它拥有 32 位

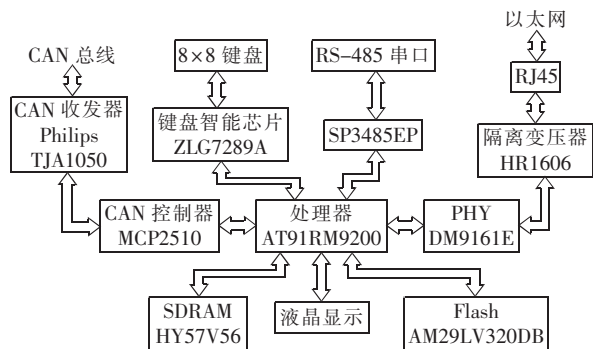


图 3 嵌入式管理终端硬件框图

Fig.3 Hardware block diagram of embedded management terminal

高性能 ARM 和 16 位高代码密度 Thumb 2 套指令集,具备 16 KByte 数据缓存和 16 KByte 指令缓存。最多可支持与 15 个外设如 ADC、DAC、LCD 控制器、CAN 控制器与传感器进行通信。它内嵌与 IEEE 802.3 标准兼容的以太网 MAC,具有 10/100 bit/s 的数据吞吐能力,可选全双工或半双工 2 种操作^[13]。

以太网 PHY 芯片 DM9161E 负责物理层和 MAC 层数据的转换,主要实现功能有连接检测、自协商、全/半双工设置、CRC 检测等。网络隔离变压器 HR1606 负责信号传输、杂波抑制以及高电压隔离等作用,以保护数据传输的安全。CAN 总线接口主要由 CAN 收发器 TJA1050 和 CAN 控制器 MCP2510 组成。传输速度快,最大可达 1 Mbit/s,输入范围宽,抗电磁干扰性能好。RS-485 总线接口采用 RS-485 收发器 SP3485EP 完成;人机接口选择 8×8 键盘输入和液晶屏显示形式。

3 软件设计

3.1 接入点测控单元

软件流程包括一个主程序和一个中断程序。主程序执行系统初始化后进入中断等待。数据采集子程序在定时器的控制时序下进行。采集信息包括电流、电压、频率等,在每个采样中断中计算功率因数、谐波含量等,通过 CAN 总线发送嵌入式管理终端。完成采集和计算后,检查 CAN 邮箱是否有上层管理中心的下行控制命令,如有则根据命令,通过 RS-485 接口控制开关分合,以切除或并入分布式电源。

3.2 嵌入式终端软件设计

嵌入式管理终端功能主要分为计量计费和控制 2 大部分,包括以下功能模块:下层通信、上层通信、负荷管理、远方抄表、电能分析、发电管理、分布式电源接入点管理等。

软件由系统层和应用层组成。系统层工作包括对嵌入式操作系统内核的移植,再对内核扩展形成一个简单、高效的操作系统^[14-15]。系统层采用免费、成熟的 Linux 操作系统内核为基础进行移植扩展,即通过设计驱动程序模块、操作系统的 API 函数、系统任务、任务调度模块等对操作系统内核进行扩展。

应用层设计是在操作系统的基础上完成终端功能模块。各种功能的实现采用多线程,每个任务分配为一个或数个线程并发执行。嵌入式管理终端主程序流程图如图 4 所示。

功能模块完成的基础是网络通信的实现,通常配网自动化中心的 SCADA 系统更新时间约为 3~10 s,与终端采用问答式规约,其实现与普通的管理终端基本一致。而对本地监控而言,要求强实时性,故采用循环传输模式,数据发送的主动权在嵌入式管理终端,通信分为 2 个管道:数据流管道和管理管道。管理管道为嵌入式管理终端与本地监控中心之间管理命令、配置信息等的双向传输通道,并对前后台并发命令进行冲突和优先级比较。数据流管道为嵌入式

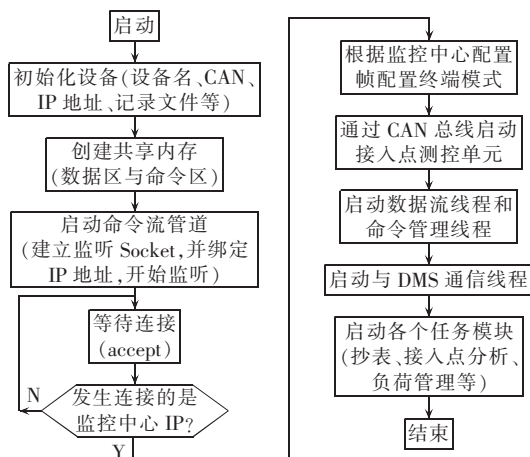


图 4 嵌入式管理终端主程序流程图

Fig.4 Main program flowchart of embedded management terminal

管理终端与本地监控中心的单向管道。通过该管道,嵌入式管理终端按设定频率向中心发送实时监测数据。嵌入式管理终端作为数据流管道的客户端,管理管道的服务器端;本地监控中心作为数据流管道的服务器端,管理管道的客户端。建立顺序为先建立管理管道,再建立数据流管道。

3.3 本地监控中心设计

本地监控中心的主控软件通过 VC++ 编写,软件分为前置处理、实时数据服务、历史数据库以及人机交互界面 4 个部分。各部分之间的接口作为单独的组件从系统中分离,通过 DLL 动态链接库实现。实时数据库的实现使用内存映射文件技术解决,使用 CreateFileMapping() 函数建立内存文件映射对象。历史数据库选择 Microsoft 的 SQL Server 数据库。

本地监控中心服务器可接收下层嵌入式用电管理终端传来的抄表数据,管理者可查询区域内任意用户的详细用电清单,并检查非正常用电情况。在分布式电源管理上,根据分布式电源控制器、接入点测控单元的数据以及远方配网自动化中心命令实现对分布式电源管理。

4 实验测试平台

实验测试平台总体结构示意图如图 1 所示。实验测试平台包括 2 个普通负载和 1 台逆变型分布式电源,通过 3 个断路器保护,并入实验室 380 V 母线。2 个普通负载的用电数据通过数字电能表测量,并通过 RS-485 总线上传至嵌入式终端。接入点电压、电流、功率因数等由接入点测控单元测量,通过 CAN 总线与嵌入式终端通信。嵌入式终端将抄表数据、保护数据、分布式电源数据以及接入点数据等上传至本地监控中心,本地监控中心分析数据,对分布式电源的状态进行控制。

5 结语

提出的分布式电源环境下的嵌入式电力负荷管理系统通过采用基于 ARM 的嵌入式负荷管理终端,

以 RS-485 和 CAN 总线通信方式统一管理本地负荷、分布式电源以及并网接入点,既能满足本地监控实时性需求,同时也能将分布式电源纳入配电网自动化系统的管理。通过搭建实验测试平台证明该系统完全有能力满足可靠、规范的通信、控制管理,能很好与现有系统兼容,并符合电力系统需求。

参考文献:

- [1] 陈堂,赵祖康. 配电系统及其自动化技术[M]. 北京:中国电力出版社,2003.
- [2] 刘建,倪建立. 配电网自动化新技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
- [3] BUCHHOLZ B,SCHLUECKING U. Energy management in distribution grids European cases[C]//2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting. Montreal,Canada:[s.n.],2006:1-2.
- [4] LASSETER R H,PAIGI P. Microgrid:a conceptual solution[C]//2004 IEEE 35th Power Electronics Specialists Conference. Aachen,Germany:[s.n.],2004:4285-4290.
- [5] ABU-SHARKH S,LI R,MARKVART T,et al. Microgrids distributed onsite generation[R]. Southampton,UK:UK Tyndall Centre for Climate Change Research,2005.
- [6] THOMAS H. Development,demonstration,and field testing of enterprise-wide distributed generation energy management system [R]. Woodland,Hills,USA:U.S. National Renewable Energy Laboratory,2003.
- [7] KROPSKI B. Reliable,low cost distributed generation/utility system interconnect[R]. New York,USA:U.S. National Renewable Energy Laboratory,2001.
- [8] 路小俊,吴在军,郑建勇,等. 基于 ARM 平台及嵌入式实时操作系统的通信管理机[J]. 电力自动化设备,2005,25(5):46-49.
LU Xiao-jun,WU Zai-jun,ZHENG Jian-yong,et al. Communication management unit based on ARM platform and embedded RTOS [J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(5):46-49.
- [9] 周靖,李扬,金伟. 新型电力负荷管理终端的设计与实现[J]. 电力需求侧管理,2005,7(4):35-39.
ZHOU Jing,LI Yang,JIN Wei. Design of a new electric power load management terminal[J]. Power DSM,2005,7(4):35-39.
- [10] 周明. 现场总线控制[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [11] 韩玮,李峻,刘文. 中、低压电气智能终端设备在火力发电厂的应用[J]. 电力自动化设备,2006,26(10):70-73.
HAN Wei,LI Jun,LIU Wen. Application of MV and LV intelligent electrical terminal device in fossil fuel power plants[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(10):70-73.
- [12] 刘和平,严利平,张学锋,等. TMS320LF240x DSP 结构、原理与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [13] 朱义君,杨育红,赵凯,等. AT91 系列 ARM 微控制器体系结构与开发实例[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [14] 李伯成. 微型计算机嵌入式系统设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [15] 刘峥嵘,张智超,许镇山. 嵌入式 Linux 应用开发详解[M]. 北京:机械工业出版社,2004.

(责任编辑:李育燕)

作者简介:

裴 玮(1982-),男,江西南丰人,博士研究生,研究方向为含分布式能源的电力系统分析和微型电网 EMS(E-mail:peiwei@mail.iee.ac.cn);

邓 卫(1983-),男,湖南永州人,博士研究生,研究方向为分布式发电系统数据分析与通信;

孔 力(1958-),男,湖北武汉人,中国科学院电工研究所所长,研究员,博士研究生导师,主要从事新能源发电、分布式能源方向研究;

齐智平(1958-),女,北京人,中国科学院电工研究所前沿部主任,研究员,博士研究生导师,主要从事分布式储能与控制方向研究;

盛 鹏(1978-),男,江西景德镇人,博士研究生,研究方向为微型电网电压稳定。

Design and implementation of embedded power load management system under distributed generation

PEI Wei^{1,2},DENG Wei^{1,2},KONG Li¹,QI Zhi-ping¹,SHENG Kun^{1,2}

(1. Institute of Electrical Engineering,Chinese Academy of Science,Beijing 100080,China;

2. Graduate School,Chinese Academy of Science,Beijing 100080,China)

Abstract: An embedded management terminal is designed,which regards the distributed generation as controllable load to integrate the distributed generation into load management of distribution automation system and realize local for supervision of distributed generation and load. The software and hardware of embedded management terminal and local control centre are developed. The data acquisition and control unit takes DSP TMS320LF2407 as its main processor to accomplish remote metering,remote signaling,remote control,network communication,and so on. The embedded management terminal takes AT91RM9200 as its main processor to accomplish communication,load management,remote metering,power energy analysis,generation management,and so on. The local control centre software is comprised of front-end processing,real-time data service,history database and human-machine interface. A test platform is established and the test results verify that the design meets the demands of reliable and normative communication,control and management,being compatible with existent system.

This project is supported by the Hi-Tech Research and Development Program of China(863)(2006AA05Z246).

Key words: distributed generation; load management terminal; embedded system; Ethernet; ARM platform