

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.03.015

智能双向计量与监控终端设计*

高 雄, 史 哲, 彭勇刚*, 韦 巍
(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要:针对分布式电源大量接入智能电网产生的电能双向独立计量、电网质量参数监测、分布式电源控制、发电补贴计费的问题,对双向计量技术、AMI 体系、谐波计量、通信协议、能效管理算法等方面进行了研究,对智能计量与监控终端的需求进行了分析,参考智能电表的结构设计方案,设计了一种基于“STM32F207 单片机 + 计量芯片”以及各种通信接口的智能计量与监控终端设备。该终端以 FreeRTOS 操作系统为平台,设计了总体任务、双向计量任务、电能质量监测任务、能效管理任务、数据存储及控制任务等流程图,并利用校表台等相关设备对终端进行了功能验证。实验结果表明,该终端电能计量精度符合要求,并可以实现实时采集电网质量信息、双向通信、独立双向计量计费等功能,系统运行稳定可靠。

关键词:双向计量;STM32F207;FreeRTOS;高级计量构架

中图分类号:TM93

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)03-0326-05

Smart bidirectional measurement and monitoring terminal design

GAO Xiong, SHI Zhe, PENG Yong-gang, WEI Wei

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, 310027, China)

Abstract: Aiming at the problems of bidirectional energy independent measurement, power quality parameter monitoring, distributed power control, power subsidies billing casing by a lot of distributed power access to the smart grid, a review was given on bidirectional energy independent measurement, AMI system, harmonic measurement, communication protocol, energy efficiency management and so on, analyzing the function requirements of smart bidirectional measurement and monitoring terminal, by referencing smart meter design solutions, designed a smart bidirectional measurement and monitoring terminal which is based on "STM32F207 microcontroller + metering chip" and a variety of communication interfaces. Using FreeRTOS operating system as platform, designed the overall mission, bidirectional energy measurement task, power quality monitoring mission, energy efficiency management tasks, data storage and control tasks flowchart, and used calibration equipment and other related equipment to test its functions. The results indicate that the terminal energy metering meets the accurate requirements, and can achieve real-time gathering power grid quality, bidirectional communication, bidirectional energy metering and billing and other functions. The system is stable and reliable.

Key words: bidirectional metering; STM32F207; FreeRTOS; advanced metering infrastructure

0 引 言

随着能源短缺和新能源技术的发展,以光伏和风机为代表的新能源得到了广泛应用。“十二五”规划

期间,我国新型城镇化建设不断推进,农村人口不断向城镇转移,第二、三产业不断向城镇聚集,城镇规模将逐步扩大。一方面,城镇化建设将大大增加用户的用电需求,推动能源供应方式变革;另一方面,城镇化建设也为分布式能源的规模化接入提供了可实施的外部

收稿日期:2015-12-08

基金项目:国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(2014AA052001);浙江省自然科学基金资助项目(LY16E070002)

作者简介:高 雄(1989-),男,湖北荆州人,硕士研究生,主要从事用户侧微电网智能计量方面的研究. E-mail:21310147@zju.edu.cn.

通信联系人:彭勇刚,男,副教授,博士生导师. E-mail:pengyg@zju.edu.cn

环境。以光伏为例,2013年7月,《国务院关于促进光伏产业健康发展的若干意见》^[1]中提出要大力开拓分布式光伏发电市场。《意见》中提倡在学校、事业单位、居民社区、工业园区和工商企业等建设相适应的分布式光伏发电系统,并且计划建设1 000个光伏发电应用示范小镇及示范村和100个分布式光伏发电规模化应用示范区。

当前,国家新能源政策的推广、智能电网的建设,海洋/海岛战略的实施以及电力市场改革的推进,微电网的重要性已逐步上升到国家战略层面。微电网技术已成为分布式光伏发电系统集成应用的核心,也是智能电网建设的重要内容,促进了能源多元化利用^[2]。建设以AMI为基础的具有电能信息的双向互动、能效管理、分布式电源接入、智能用电等多种功能的智能平台成为了必然趋势。然而,当考虑分布式电源接入时,该平台需要安装两套智能电表和一套智能终端。这增加了安装空间和装置成本,产生智能电表和智能终端的信息冗余存储,无形中造成了硬件资源的浪费。目前分布式发电采用“自发自用,余电上网”模式较多,在大部分结算场合,只需要采用现有智能电表的双向计量功能,实现用户和电网的电能代数和计量就可以为用户与电网的结算提供依据。但是在未来智能电网情况下,只计量用户和电网交互的电能代数和还不够,需要独立地计量双向的电能,为分布式发电的统计、监控以及负荷的精确预测提供基础。设计具备智能电表和智能终端功能的智能计量与监控终端就显得十分重要。

1 智能双向计量与监控终端的需求

1.1 基于AMI的家庭微电网的应用分析

高级计量架构(AMI)是用户侧微电网智能用电的架构设计。高级计量架构包含量测数据管理系统(MDMS)、双向通信网络、智能电表和用户户内网络,各部分的具体功能包括^[3-6]:量测数据管理系统、双向通信网络、智能电表和用户户内网络。

在智能微电网示范点,智能双向计量与监控终端承担着AMI中的计量和智能监控的功能。它由主站、智能终端、分布式电源、智能负载组成。一方面通过RS485从上级主站或微电网中央控制器获得电价、调度等信息;另一方面通过RS485、以太网、wifi等对分布式电源和用电设备进行监控。

如图1所示,该终端集成了智能电表和智能终端功能,使AMI数据流的中间环节减少,有效提高信息

传递的可靠性和安全性,并且减少了安装设备所需的空空间,可降低终端价格。

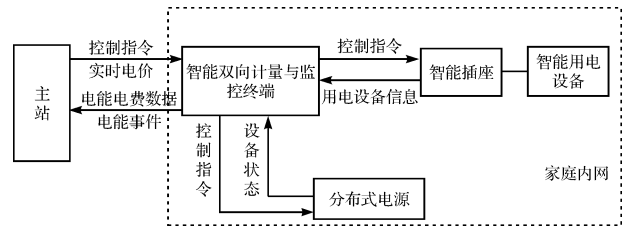


图1 智能双向计量与监控终端的AMI数据流示意图

1.2 家庭用户的功能需求

由于家庭微电网的潮流存在双向流动,而分布式电源发电补贴、余电上网、用电的价格不同,家庭能效管理的策略不同。这就要智能双向计量与监控终端不仅具备双向计量功能与监测、通信功能、微网控制、人机交互、能效管理等功能,还应具设备信息采集与控制功能。

(1)双向计量与监测。当家庭分布式电源接入微电网后,必然会带来电能质量问题,这时就需要对电网的频率、谐波、电流电压不平衡度进行监测;由于国家对分布式电源的补贴,允许上网售电,导致用户侧微电网的潮流不再是单向流动,这时一体化终端就需要能分别计量补贴、发电收入、用电金额。

(2)微电网控制。家庭微电网是由户内的分布式电源、可控负载、智能用电设备构成的。它的控制器就是智能双向计量与监控终端,能响应上级设备的指令,实现对家庭微电网的控制,响应微电网中央控制器的调度。

(3)人机交互。智能计量终端的液晶屏显示家庭微电网运行状态和电能电费信息。配合按键可以支持用户进行基本的功能设置,信息查询。

(4)能效管理。依据获得的售、用电电价信息,结合微电网的调度指令、分布式电源的状态,为用户提供最优的用电策略。

(5)设备数据采集与控制。为了获得微电网的运行状态,需要实时采集电网的电压、电流、有功功率、频率等参数,通过RS-485、以太网、WIFI等方式发送给中央控制器,等待收到响应指令。

2 硬件总体方案

目前市面上还没有一款设备能同时具备对电网的质量监测、双向电能的计量计费、分布式电源发电的补贴计量、用电能效管理、与其他智能设备通信等功能的终端设备。基于南方电网智能微电网示范工程项目的

独立双向计量计费以及能效管理的实际需求,设计了智能双向计量与监控终端。该终端采用 MCU + 计量芯片的方案^[7],主要由双向计量,CAN 总线、Wi-Fi、以太网及 RS-485 模块构成,在软件上实现电能电费补贴的计量、对分布式电源、可控负荷的监控和能效管理等功能。用户侧微电网智能双向计量与检测终端的系统框图如图 2 所示。

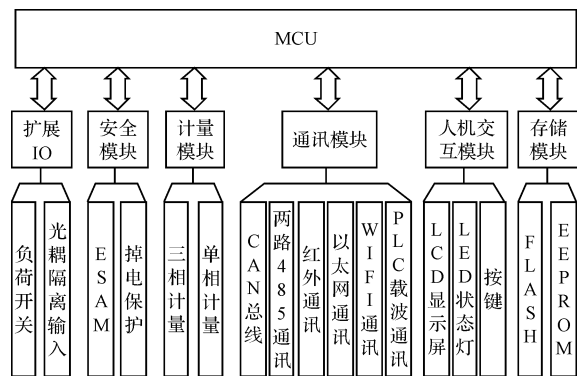


图 2 智能双向计量与检测终端总体方案设计

在图 2 中,安全模块包含保证数据安全的 ESAM 模块以及保证终端可靠工作的掉电保护电路;计量模块包含三相计量模块和单相计量,实际使用中三相单相可选;扩展 IO 模块中包含负荷开关和光耦输入,主要用于后期的扩展使用;人机交互模块中 LCD 用于显示电量电价信息等,LED 用于状态显示,按键有编程、唤醒、显示切换等功能;存储模块中,flash 主要用于事件记录、数据存储、历史记录存储等,EEPROM 则用于存储寄存器的配置信息及出厂信息等。另外,系统还设计了校表用的 232 接口,以及用于保证系统安全工作的供电系统。

2.1 双向计量模块

双向计量依照的是《国家电网智能电表技术规范》^[8]的要求,双向计量应当实现的功能:组合/正向/反向有功总电能、组合/正向/反向各费率有功电能、正向/反向分相有功电能、正向/反向有功最大需量、瞬时冻结功能、整点冻结功能、电压过压欠压事件记录、电流失流过流事件记录、瞬时电压电流功率的检测等功能。从计量精度、电网监测功能、通信速度等方面考虑,选择合理的计量芯片。ADI 公司的计量芯片性能好,使用广泛,这里选择 ADE7878/7593 计量芯片。

出于成本考虑,采样电路一般使用电路分压式。对于电流采样,可以利用电阻将电流信号转换成共模电压信号进行采样,给计量芯片。对于电压采样,一般对交流电压直接串联电阻分压,转换成小电压信号后,连入计量芯片。

2.2 通信功能模块

该终端集成了以太网、WI-FI、电力线载波、RS485、CAN、红外接口和数字输入输出等通信模块,这些通信模块对应着不同的实际通信接口使用需求。例如,CAN 通讯主要用于后期与其他能效管理终端的通讯;两路 485 通讯中一路是与能效管理终端的通讯,另一路是与上级控制器的通讯;红外通讯主要用于远程抄表功能的实现;WIFI、以太网和 PLC 载波通讯则主要用于与其他分布式单元的通讯,获取更多的电量信息,为能效管理的优化提供数据支撑。

通信模块图如图 3 所示。

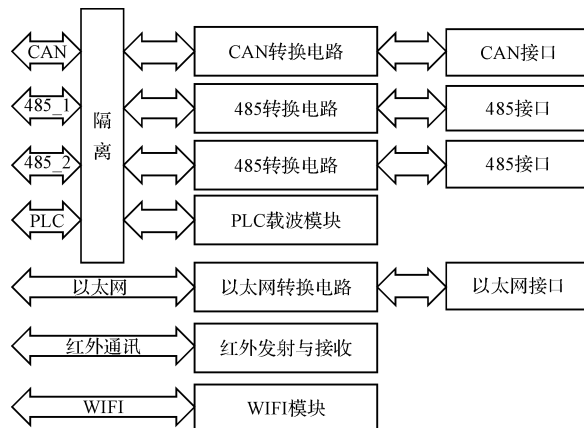


图 3 通信模块图

3 软件设计及任务组成

该终端要实现微电网谐波、电能质量的检测;双向电能独立计量计费、补贴计量;双向通信;事件记录、能效管理等功能。整个系统对实时性要求高,任务多而繁重,这时选用轻量级操作系统 FreeRTOS。在操作系统的支持下,可以将终端的软件流程分割成一些主要的任务。

3.1 总体任务设计

智能计量终端的任务涉及到了微电网质量的在线监测、双向电能的计量、数据的存储、人机交互功能的实现以及和中央控制器的通信。为了保证电网质量的监测的准确性,需要给电网参数采集处理任务最高优先级,双向计量任务承担着计量计费的功能,在设计的时候也要给与较高的优先级;通信任务由于存在不同的通信方式,需要根据相应的实时性要求给与不同的优先级;人机交互主要是刷新用户关心的电能电费等信息,优先级设定为 3;数据存储及控制的时间要求一般都是毫秒级或秒级,设定为较低的优先级;而能效管理任务对实时性要求最低,设定为最低的优先级 0。

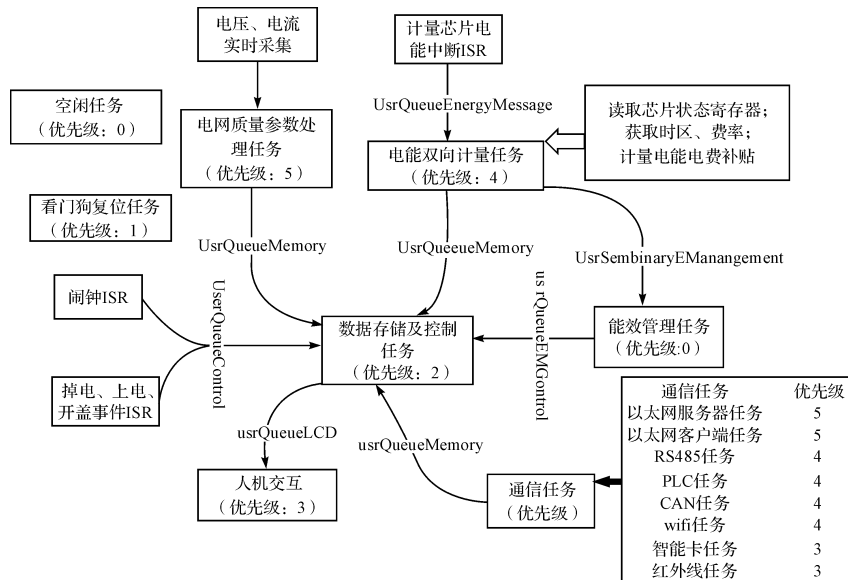


图4 智能计量任务调度图

当确定好各任务的优先级后,就可以在系统初始化后,启用调度器,进行任务调度。

其流程图如图5所示。

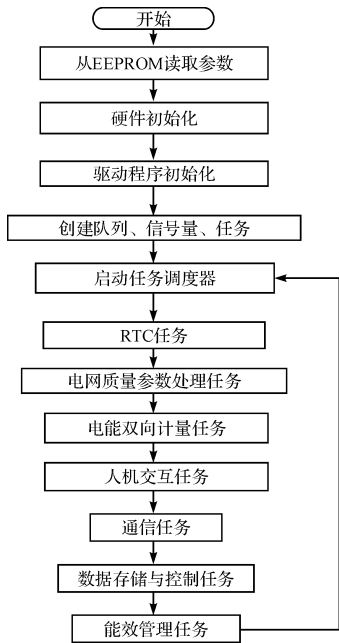


图5 主程序流程图

3.2 电能双向计量任务

在电能计量模式下,对计量芯片进行配置后,让计量芯片处于线周期电能累计模式。每当 LINECYC 寄存器中所设的整数个半波周期的积分处理完成时,主控芯片将收到中断请求,读取电能寄存器的值,并获取状态寄存器的状态,判断有功的正、反向;利用获得的时区、费率、补贴电价,从队列中读取电能事件编码,进行电能事件处理;查看电能计量芯片中断标志位进行中断控制;周期性更新电能数据,为用户、能效管理任

务、以及微电网中央控制器提供实时数据。

当收到校表指令时,智能终端负责获取电能校准数据,自动计算响应的增益和偏移寄存器的值,将参数的值保存到 EEPROM 中。

具体的流程图如图6所示。

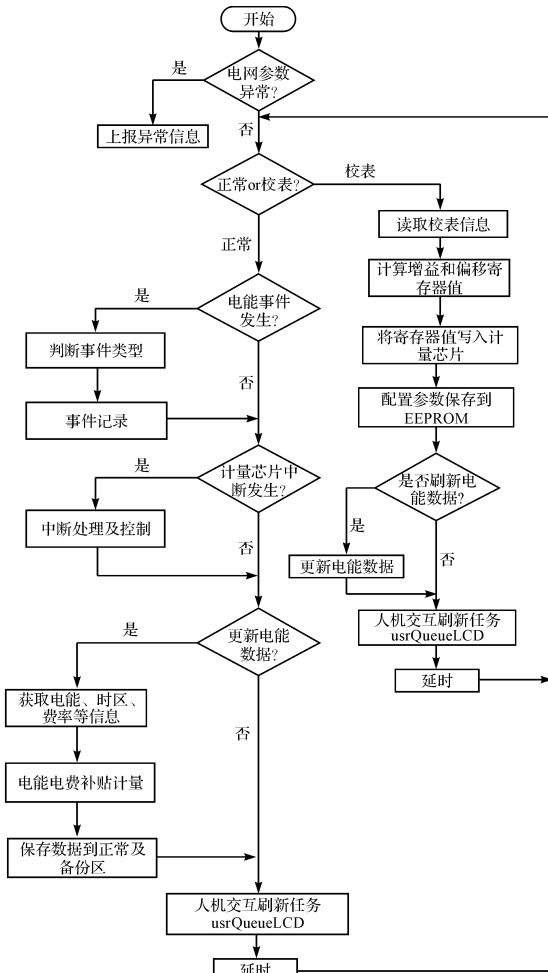


图6 双向计量任务

3.3 电网质量监测任务

分布式电源接入微电网不可避免地产生谐波,是供电质量变差。为了对谐波进行计量需要定时采集电压、电流的瞬时值。设计一个周期采集 100 个点,可以利用定时器每隔 0.2 ms 进行一次等间隔采样。将该采样中断服务程序的优先级设定为最快得到响应。其采样的中断服务函数流程图如图 7(a) 所示。

当完成了周期采样后,就需要对数据进行傅里叶分析,为了保证分析的准确性。采用一个 20ms 的定时器,设定较低的中断优先级。在中断服务函数中对保存的采样数据进行 FFT 变换,再根据公式求得响应的谐波含量。其任务流程图如图 7(b) 所示。

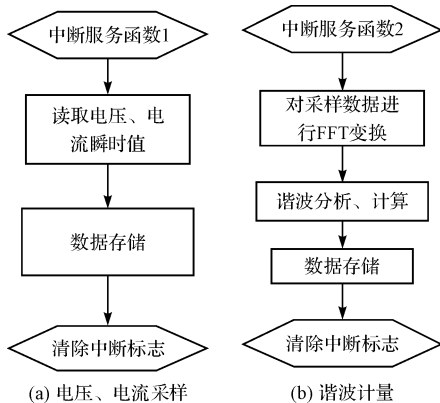


图 7 谐波分析

3.4 能效管理任务

能效管理任务的软件流程图如图 8 所示,它主要利用对二值信号量进行获取操作,实现能效管理计算的激活。该任务负责采集双向计量的用户用电信息、实时电价、分布式电源的发电信息,利用设定的用电策略,产生能效管理控制链表,并调用存储及控制任务,实现能效管理。比如:用户选择经济模式时,终端就会比较当前时段的费率电价信息和用户设置的可控负载关断条件,适时切除不必要的负载。

3.5 数据存储及控制任务

数据存储及控制任务流程图如图 9 所示。它实现智能计量终端的数据存储和读取操作,包括基本参数、电能信息和用户用电信息存储和读写、掉电时数据保护、上电时数据恢复。同时,该任务还承担智能计量终端的状态监控功能。例如,记录终端设备的运行状态,

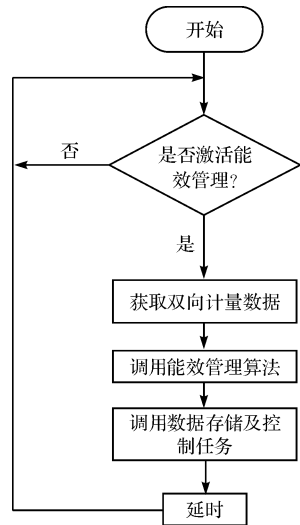


图 8 能效管理任务流程图

能效管理控制链表的状态信息,当响应掉电/上电事件的处理申请;当使用 TCP 连接时,管理服务器模式下的连接状态,关闭不用的连接,释放资源;对分布式电源进行监控。

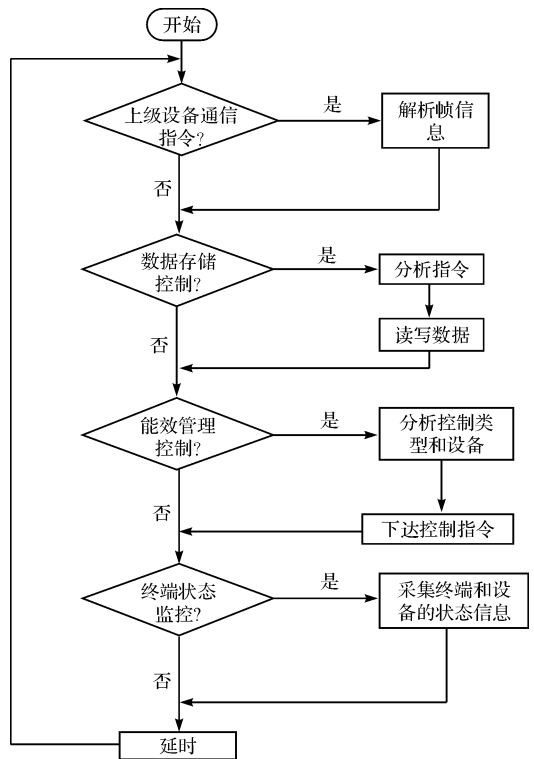


图 9 数据存储及控制任务流程图

(下转第 382 页)

本文引用格式:

高 雄,史 哲,彭勇刚,等. 智能双向计量与监控终端设计[J]. 机电工程,2016,33(3):326-330,377.

GAO Xiong, SHI Zhe, PENG Yong-gang, et al. Smart bidirectional measurement and monitoring terminal design[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(3):326-330,377.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>