

基于智能电网的智能用户端设计

牟龙华, 朱国锋, 朱吉然

(同济大学电子与信息工程学院, 上海 201804)

摘要: 旨在设计基于智能电网的智能用户端系统, 主要包括智能电表、智能电器开关和户内控制系统三部分。根据不同需求, 采用各异的微控制器作中央控制单元, 加以高精度计量芯片作为基础平台, 再配合无线通信、LCD显示等诸多外围电路实现对智能用户端的整体构建。三者相互配合, 使户内用电网络形成一个有机整体, 不仅能精准计量电能, 还可以实现各级双向通信和远程控制, 用户能够根据实时电价并结合自身用电情况调整用电, 从而更加稳定、高效地利用电能。

关键词: 智能电网; 智能用户端; 智能电表; 高级量测体系; 无线通信

Design of intelligent terminal based on smart grid

MU Long-hua, ZHU Guo-feng, ZHU Ji-ran

(College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: This paper aims to design intelligent terminal based on smart grid which mainly includes intelligent meter, intelligent apparatus switch and indoor control system. Based on different requirement, it uses different microcontrollers as central control unit, takes high-accuracy metering chip as basic platform, and adopts other peripheral circuits like wireless communication and LCD display to make the overall construction. It can make the indoor power system into an organic whole which can not only compute electric energy accurately, but also can realize each grade bi-directional communication and remote control. Users can set a flexible plan for themselves based on the real time power price and their own needs, which can make energy consumption more stable and efficient.

Key words: smart grid; intelligent terminal; smart meter; AMI; wireless communication

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)21-0053-04

0 引言

随着信息时代的来临, 如何更高效地利用能源、节约能源, 在全球范围内被给予了越来越多的关注, 电力行业正面临着诸多新挑战。作为顺应电力发展趋势的产物, 智能电网必将掀起一番新浪潮。智能电网是以传统电网为基础, 融合计算机、通信、传感等多种技术于一身的新型电网, 具有数字化、自动化、信息化和互动化等基本特征^[1-2]。

本文主要涉及智能电网的用户端, 包括智能电表、智能电器开关以及户内控制系统。三者通过无线通信构成一个用电系统的户内网络, 如图1所示。智能电表和智能电器开关将记录的信息发送给户内控制系统, 用户通过操作平台实现对户内用电的控制, 户内控制系统将控制指令发送给各智能电器开关。

1 智能电表

1.1 智能电表主要功能

1) 电能计量: 对多种时段多种费率模式电能分

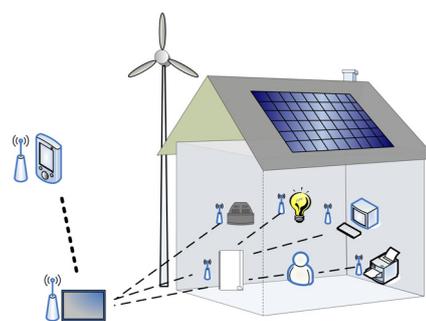


图1 户内网络示意图

Fig.1 Indoor network

别统计^[3], 对有功、无功电能使用情况进行计量, 测算电能电压、电流、频率、功率因数等丰富信息, 从而更好地帮助用户分析用电情况, 制定合理的用电规划。

2) 电能监管: 与实时费率系统配合, 将电能使用量控制在设置的阈值以内。与分布式发电相配合, 将其发出的电能并网供给用户直接使用或者由相关机构统一管理, 当主电网故障时, 与分布式发电管

理系统共同协作实现孤岛系统的平稳过渡。与户内控制系统配合对各智能电器进行管理，帮助电网的削峰填谷，提高电力供应可靠性，从而更合理、高效地使用电能。

3) 通信系统：采用双向通信模式，在发送数据信息的同时接受指令信息，比如实时费率标准、电表程序升级设置等一些其他远程操作。

1.2 智能电表硬件设计

根据智能电表的各项功能，设计其结构框图，如图 2 所示。智能电表包含有控制管理、电源、计量、通信、时钟、数据存储、LCD、LED、按键等模块。

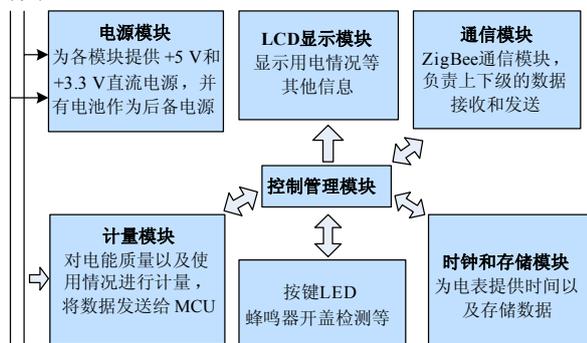


图 2 智能电表框图

Fig.2 Block diagram of smart meter

1.2.1 控制管理模块

控制管理模块作为智能电表的核心单元，它的主要作用是将各个模块整合成整体、协调合作。芯片的集成度、功耗以及价位均是需要考虑的因素。在本设计中采用的是 Freescale 公司的一款 8 位控制芯片 MC9S08LL64，其最大的特点就是超低功耗，并带有内置 LCD 驱动，适合计量表计。

1.2.2 电源模块

智能电表各模块所需电压为 +5 V 和 +3.3 V 两种。从电网接入工频单相交流电，经变压器降压、整流、滤波后，由三端稳压器 78L05 获得 +5 V 电源；+5 V 电源的另一个支路再经三端稳压器 LM1117 IMPX-3.3 即可获得 +3.3 V 电源，并将 +3 V 电池作为后备电源与 +3.3 V 电源并联，当电网停电时，电池作为后备电源为指定器件供电，从而保证重要数据不丢失。

电表作为一种不间断工作的在线电能计量器件，对可靠性和公平性具有很高的要求。本设计在系统电源输入端串联热敏电阻进行过压保护，并联压敏电阻进行雷击保护。

1.2.3 电能计量模块

目前，电能表的计量芯片有模拟型乘法器和数

字型乘法器两种^[4]。前者主要分为时分割乘法器和吉尔波特变跨导乘法器两类，后者则根据 A/D 变换原理不同分成逐次比较型数字乘法器和 Σ - Δ 型数字乘法器。 Σ - Δ 型电能计量芯片由于其高精度占据了较大的市场份额。

本设计选用 ADI 公司的一款高精度电能计量芯片 ADE7753。它内置数字积分器，具有 di/dr 微分电流传感器接口，提供有功、无功、视在功率能量值，采样波形以及电压和电流有效值，在 1000:1 的动态范围内，误差小于 0.1%，低功耗，并且具有与 SPI 兼容的串行接口。

1.2.4 通信模块

目前常用的通信方式有 RS485、红外、低压电力载波和无线等^[5]。

RS485 双绞线通信方式实现较易，但传输距离短、布线复杂、维护困难；红外通信自动化程度低，抄收距离受限，已渐渐退出通信前沿；低压电力载波通过输电线路来实现通信，该方式的最大优点是无需单独布线，但目前传输距离和信号质量上仍存在一些难题，可靠性稍差；无线通信在许多地区已盛行，其中具有代表性的无线抄表方案有基于 GPRS 的无线数据接入、基于 WLAN (无线局域网) 技术的无线接入、基于 CFDA 技术的无线数据接入技术以及 ZigBee 技术。

ZigBee 是近年来发展迅猛的一种无线通信技术^[6]，是一种基于 IEEE 802.15.4 无线标准提出的有关组网、安全和应用软件方面的技术标准，用以解决传感器间数据传递和交换。ZigBee 具有网络稳定性好、容量大、安装维护方便、抗干扰能力强、安全性好、功耗低、造价低等特点，适用于电子设备间的无线数据传输。通信模块选用 TI 公司的芯片 CC2530，它是一个真正用于 IEEE 802.15.4、ZigBee 和 RF4CE 应用的片上系统解决方案，能够以非常低的成本建立强大的网络节点，具有很高的灵敏度和较强的抗干扰性。

1.2.5 时钟模块

实时时钟的主要作用是为电表提供精确的时间基准，它与电表的系统误差、电费结算、事件记录等都有一定关联。本设计采用 EPSON 公司专为中国表计行业设计的一款实时计时芯片 RX8025，采用 IIC 总线通信模式，功耗低且精准度高。

1.2.6 数据存储模块

电表对安全性的要求非常高，一些重要数据丢失将会造成严重后果，因此本设计中，选用 Ramtron 公司的铁电存储器 FM24CL64，它与 EEPROM 相比，读写速度和耐用性能高出几个数量级，无读写次数

限制, 且功耗极低, 能充分满足智能电表的要求。

1.2.7 其他模块

本智能电表的人机接口部分设计采用段码式 LCD 显示各种信息; 三个 LED 作报警提示; 一个按键供工作人员进行相关调试; 并设有开盖检测电路对电表的开盖事件作记录上报, 防止非法操作, 确保电表安全。

2 智能电器开关

图 3 即为智能电器开关示意图, 它是一个连接用电器和电源的中间设备, 由于现阶段电器的智能化尚无法满足构建户内智能网络的要求, 因此可将智能电器开关看作一种过渡型器件。

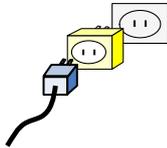


图 3 智能电器开关

Fig.3 Intelligent switch

2.1 智能电器开关主要功能

- 1) 对用电器的用电量进行计量;
- 2) 通过无线通信将用电信息上报;
- 3) 接收户内控制系统下发的控制命令, 对用电器执行通断等操作。

2.2 智能电器开关硬件设计

图 4 即为智能电器开关框图, 它与智能电表相比少了 LCD 模块, 多了开关模块。

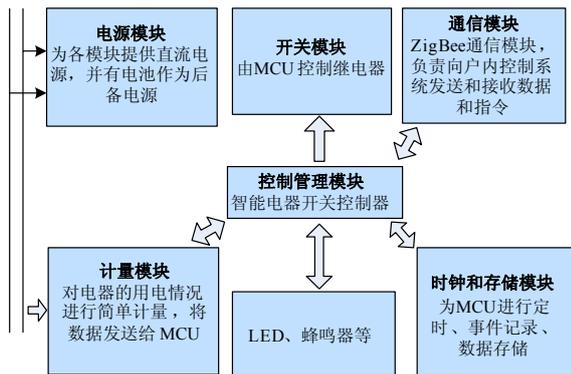


图 4 智能电器开关框图

Fig.4 Block diagram of intelligent switch

2.2.1 控制管理模块

同智能电表相比, 智能电器开关在功能上要少很多, 但安装数量较多, 因此在设计时经济实用性着重考虑。该模块选用 ATMEL 公司的一款低功耗 8 位芯片 ATmega8535。

2.2.2 电源模块

智能电器开关接入的是户内供电网络, 在电源模块设计时省去了雷击保护, 均采用直流+5 V 供电, 并配有+3 V 电池作后备电源。

2.2.3 电能计量模块

由于智能电器开关只需记录电能的使用量即可, 其电能计量模块选用 ADI 的计量功能相对较少一些芯片 ADE7756。

2.2.4 开关模块

用电器电源的通断由微型继电器来实现, MCU 的输出信号经过光耦隔离后对继电器进行控制。

2.2.5 数据存储模块

考虑到智能电器开关数据量相对较小, 它的存储模块选用价格较为低廉的 EEPROM 存储。

2.2.6 其他模块

通信、时钟等其他模块均与智能电表相同。

3 户内控制系统

户内控制系统是智能电网新特性的主要体现点之一, 有关它的说法较多, 有些文献中将其称为户内显示系统 (In Home Display) 或者户内能源管理系统 (Home Energy Management System)^[7]。用户通过该平台了解电能使用信息, 并结合实时费率等资讯, 对各用电器用电情况进行控制, 调整自己的用电方案。同时它还具有很高的扩展性, 随着其他各领域的发展, 户内控制系统将能够集水电气等诸多户内控制于一身, 使得今后的家居生活更加智能化、人性化。

3.1 户内控制系统主要功能

- 1) 接收智能电表、智能电器开关发送的大量数据信息并进行实时显示;
- 2) 为用户提供操作平台, 使其可获取详细的电能使用情况及其他相关信息, 并协助用户分析调整电能的使用;
- 3) 将用户下达的控制指令发送给各用电器。

3.2 户内控制系统硬件设计

如图 5 即为设计的户内控制系统框图。

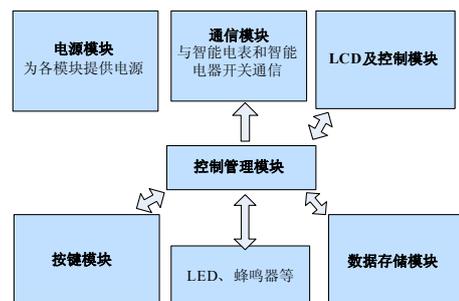


图 5 户内控制系统框图

Fig.5 Block diagram of indoor control system

3.2.1 控制管理模块

户内控制系统需要处理大量信息，因此需要一个性能优异的芯片才能保证其高效稳定工作。本设计选用 TI 公司基于 ARM 核心的 LM3S9000 系列，主频达 80 MHz，性能优异。

3.2.2 电源模块

考虑到便捷性和舒适性，将户内控制系统设计成一款手持式移动设备，采用+3 V 电池供电。

3.2.3 显示模块

该模块包括 LCD 液晶屏、LCD 驱动、按键三个部分。LCD 驱动芯片为 EPSON 公司的 S1D13517，适合于多种屏幕及分辨率；按键共有八个，分别是电源键、重启键、上下左右四个方向键、确定键、取消/返回键。

图 6 为模拟的户内控制系统主界面，它包含有电能、电价、用电器、分布式发电等模块。



图 6 户内控制系统主界面

Fig.6 The main interface of indoor control system

户内控制系统将接收到的用电信息经过处理，以图表的形式直观的展现出来。用户根据自身情况调整用电方案，用电器模块能够对各用电器的开关进行定时管理。

3.2.4 数据存储模块

户内控制系统的数据存储模块包含 MCU 的铁电存储器以及 LCD 的 SDRAM 显存。

3.2.5 其他模块

时间和通信等其他模块均与智能电表类似。

4 结论

本文以智能电网为背景，结合高级量测体系和通信的发展，对智能电网的智能用户端进行了硬件原理的设计。包括可对电能进行多项精准测量记录并支持实时电价多重费率的智能电表、计量用电器用电情况并根据控制指令进行开关操作的智能电器开关，以及为用户提供控制平台以实现对户内用电网络进行管理的户内控制系统。三者相互配合，从而达到更合理地分配电能、更高效地利用能源的目的。

的。

智能用户端是智能电网中的热点之一，概念新颖，发展潜力巨大，具有极为广阔的应用前景。目前诸多领域尚未形成统一规范，因此在对其进行设计时，还需要不断的探索和实践，以便达到最理想的效果。

参考文献

- [1] 余贻鑫. 面向 21 世纪的智能配电网[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2 (6): 14-16.
YU Yi-xin. Intelli-D-Grid for the 21st century[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2 (6): 14-16.
- [2] 栾文鹏. 高级量测体系[J]. 南方电网技术, 2009, 3(2): 6-10.
LUAN Wen-peng. Advanced metering infrastructure[J]. Southern Power System Technology, 2009, 3 (2): 6-10.
- [3] 殷树刚, 张宇, 拜克明. 基于实时电价的智能用电系统[J]. 电网技术, 2009, 33 (19): 11-16.
YIN Shu-gang, ZHANG Yu, BAI Ke-ming. A smart power utilization system based on real-time electricity prices[J]. Power System Technology, 2009, 33 (19): 11-16.
- [4] 郭松林, 林海军, 张礼勇. 电子式电能表专用芯片分类及原理[J]. 电测与仪表, 2002, 39 (442): 5-7, 52.
GUO Song-lin, LIN Hai-jun, ZHANG Li-yong. Classifying of the CMOS chip focus on Watt-hour meter and the theory of the CMOS chip focus on Watt-hour meter[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2002, 39 (442): 5-7, 52.
- [5] 谭志强, 黄懿. 自动抄表技术的发展[J]. 电测与仪表, 2009, 46 (517): 1-5.
TAN Zhi-qiang, HUANG Yi. The development of technology in automatic meter reading[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2009, 46 (517): 1-5.
- [6] Coalton Bennett, Darren Highfill. Networking AMI smart meters [C]. //IEEE Energy 2030 Conference. 2008.
- [7] Choi Tae-Seop, Ko Kyung-Rok, Park Seong-Chan, et al. Analysis of energy savings using smart metering system and IHD (in-home display) [C]. //Transmission and Distribution Conference and Exposition. Asia and Pacific: 2009.

收稿日期: 2010-04-20

作者简介:

牟龙华 (1963-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统微机保护与电能质量; E-mail: lhmu@vip.163.com

朱国锋 (1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向为智能电网;

朱吉然 (1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向为继电保护与智能电网。