

智能电网 AMI 中的智能电表系统设计

静恩波

(中国民航机场建设集团公司,北京 100101)

摘要:在智能电网的发展中,智能电表受到前所未有的重视。智能电表不但能显示用电量,而且还能显示电能价格,将推动新的用电方式和生活方式。电力用户是我国电工仪器仪表最大的用户群体,需求量占整个市场的 90%,智能电表是我国电工仪表行业中未来产量最大的产品。本文针对智能电表的发展做了概述,并且以 Maxim 公司生产的 MAXQ3180 计量芯片为例,采用 ST 公司生产的 STM32F107 ARM 嵌入式控制器为主机,介绍了智能电表的软硬件设计及低功耗设计方法,最后详述了智能电表的防窃电技术。

关键词:智能电网;智能电表;低功耗;计量芯片

中图分类号:TM933

文献标识码:B

文章编号:1001-1390(2010)7A-0036-04

Smart Meter System Design in Smart Grid Advanced Metering Infrastructure AMI

JING En-bo

(General Administration of Civil Aviation of China Airport Construction Corporation, Beijing 100101, China)

Abstract: In the development of smart grid, smart meters get unprecedented attention. Smart meters can show not only electricity consumption, but also energy prices, which will promote a new way of consumption and lifestyle. Electricity users are the largest user group in China's Electric Instruments, with 90% demands of the total market. Smart meters are the largest future output products in China's Electric Instruments. This paper outlined the development of smart meters, then introduced smart meters' hardware and software design and low-power design method, taking Maxim's MAXQ3180 as the example and using ST's ARM embedded controller STM32F107 as the host, and finally expatiated the anti-tamper technology of smart meters in detail.

Key words: smart grid, smart meter, low-power, measurement chip

0 引言

随着全球资源逐渐稀缺、环境压力不断增大、电力市场化进程不断深入及用户对电能可靠性和质量要求的不断提升,电力行业正面临前所未有的挑战和机遇,建设更加安全、可靠、环保、经济的电力系统已经成为全球电力行业的共同目标。智能电网(Smart Grid)就是利用现代测量、通信、计算机、自动化等 IT 先进技术,允许可再生能源顺利接入电网,提高电力系统的能源转换和传输效率,确保电网运行更可靠、更灵活、更经济,能为用户提供更高的供电质量和更优质的服务。智能电网包含从发电、输电、变电、配电、用电和调度六个环节,智能电表属于智能用电的环节。智能电网建设对电力设备提出更高层次的要求,智能电表和数字化变电站面临较高景气度,掌握该核

心技术优势和市场优势的企业将从中受益。因此,加大智能电表的研发力度将对我国智能电网的快速发展具有重要意义。

1 智能电表概述

智能电网的关键技术主要由四部分组成,分别是高级量测体系 AMI、高级配电运行体系 ADOI、高级输电运行体系 ATOI 和高级资产管理体系 AAMI。智能电网必须具备灵活的网络结构和集成的通信系统,才能形成上述四大体系^[1-5]。

高级量测体系 AMI(Advanced Metering Infrastructure)主要功能是授权给用户,使系统同负荷建立起联系,使用户能够支持电网的运行。AMI 是许多技术和应用集成的解决方案,其关键技术和功能主要包括:

(1)智能电表

电价是电力改革的关键。在发展智能电网中,智能电表受到前所未有的重视。智能电表不但能显示用电量,而且能显示电能价格,将推动新的用电方式和生活方式。

(2) 通信网络

采取固定的双向通信网络,能够把采集的数据信息(包括故障报警和装置干扰报警)实时地从智能电表传到数据中心,是全部高级应用的基础。

(3) 计量数据管理系统 MDMS

这是一个带有分析工具的数据库,通过与 AMI 自动数据收集系统的配合使用,处理和储存电表的计量值。

(4) 用户室内网 HAN

通过网关或用户入口把智能电表和用户户内可控的电器或装置连接起来,使得用户能根据电力公司的需要,积极参与需求响应或电力市场。

(5) 提供用户服务

如分时或实时电价等。

(6) 远程接通或断开

AMI 的体系结构如图 1 所示。

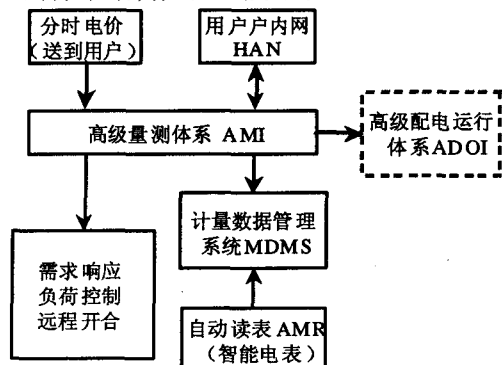


图 1 AMI 的体系结构图

Fig.1 AMI architecture diagram

智能电表,将有助于在消费者和电力公司之间实现实时通信,使人们能够基于环境和价格的考虑,最大程度地优化能源用量。智能电表使智能电网具有多层智能,能够实时分析、决策、计划并作出积极的行为。智能电表在智能电网中具备了电力的价值信号收集和发布功能,使电网能够优化所有的投资和运行费用,使发电机组与用户电器的关系更加协调。由于人们对于智能电表的发展给予了极大的重视,所以智能电表的发展异常迅速。

智能电表可以让用户将屋顶风电、屋顶光电装置所生产的电能卖给电网,将有利于改进能源预测,加强网络管理。日本经济产业部副部长望月晴文指出,日本将根据自身的国情,围绕大规模开发太阳能等新能源、确保电网系统的稳定运行,来构建独具日本特

色的智能电网。

目前,采用智能电表不仅可以实现对电能质量进行监测,而且可以通过仪表的网络通信接口实现双向数据远程传输,组成分布式测控网络系统。

2 智能电表的硬件设计

2.1 MAXQ3180 简介^[6]

MAXQ3180 主要由 DSP 和集成 ADC 组成,是专用的电气参数测量前端,它采集并计算多相负载的多相电压、电流、功率、电能等多种电力品质参数。

外部主机通过片内 SPI 总线读出计算结果,并且通过 SPI 总线来配置 MAXQ3180 的工作模式,监测工作状态。

2.2 硬件结构设计

智能电表的硬件结构如图 2 所示。

其中计量芯片和主机的选择是关键。在智能电表的设计中,专用计量芯片更便于电能和相关电力品质参数的计算,所以将嵌入式控制器分离出来专门实现管理功能,如通信、费率时段管理、实时电价、存储管理等。

计量芯片选用 Maxim 生产的多功能低功耗计量芯片 MAXQ3180,主机选用 ST 公司生产的 STM32F107xx 增强型 ARM 嵌入式控制器^[7]。

由于 STM32F107 只具有 10/100 Ethernet MAC,所以需外加 10/100 Mb/s 以太网物理层收发器 DP83848CVV 和 RJ45 连接器 J0011D21B。这样,智能电表可提供一个以太网通信接口,便于组成分布式通信网络。

另外,智能电表还配有 HMI 人机接口,采用 LCD 液晶显示模块进行数据和设定信息的显示。采用非易失铁电存储器 FRAM 保存累计电能和设定信息。

3 智能电表的软件设计

智能电表的软件主要由监控程序,键盘扫描程序,显示程序,设定程序,MAXQ3180 数据读取程序,量程自动校正与功率补偿程序,数字滤波程序,算法程序,实时时钟程序,分时电价程序,网络通信程序等组成,采用 C++ 语言编程,并进行模块化设计。

4 降低系统功耗的设计方法

主机作为智能电表的核心之一,对整个系统的电源管理负有重要的作用。由于专用计量芯片 MAXQ3180 的使用,主机只进行管理和通信工作,选用低功耗产品 STM32F107xx 嵌入式控制器可以满足要求。

降低计量部分的功耗,可以采用已下五种方法:

(1) 采用 3.3V 供电电压

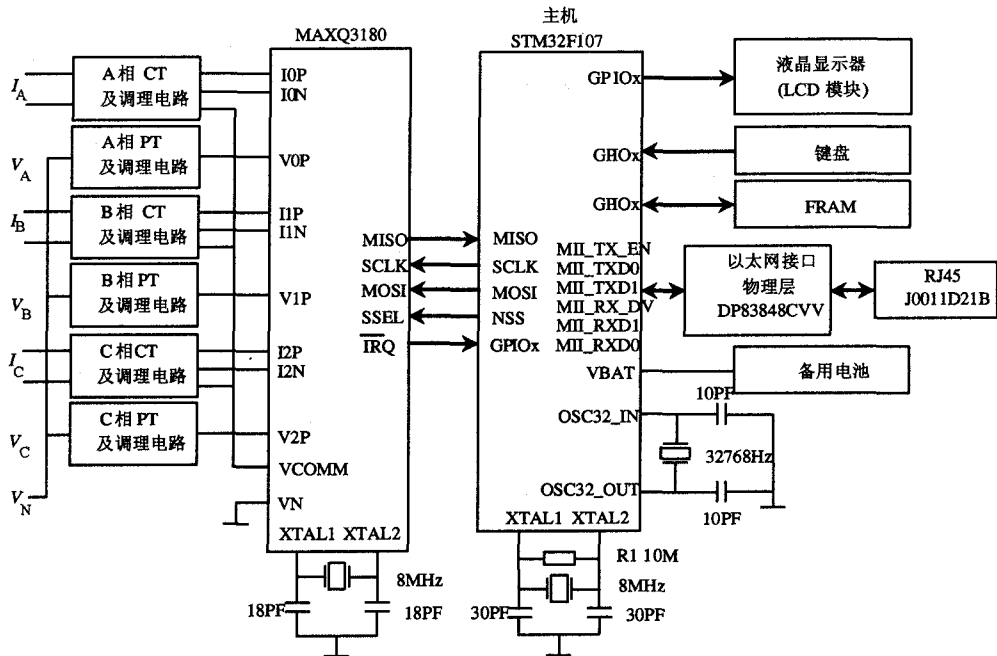


图 2 智能电表的硬件结构图

Fig.2 Smart meter hardware architecture diagram

MAXQ3180 采用 3.3V 供电，使其可以和主流 3.3V 供电的微控制器接口，从而有效地降低了系统的功耗。

(2) 采用低功耗模式

MAXQ3180 能够在微控制器的控制下降低工作频率，进入低功耗测量模式，其功耗可低到正常工作模式的 25%~30% 而保持功能基本不变。

(3) 采用休眠模式和快速唤醒

MAXQ3180 使用低功耗模式使得工作电流大大降低，而休眠模式和快速唤醒可以使得实际工作的时间缩短，从而减小占空比，并最终降低平均电流。

(4) 降低动态功耗

在计量芯片工作过程中，有很多部分采用间歇性工作的方式，使得暂时不使用的部分处于关断状态，这样可以有效地降低系统平均功耗。在需要工作时，快速启动也是非常重要的，这就需要在计量芯片设计过程中很好地分配时钟和时序。MAXQ3180 采用了这一先进的技术，取得了非常好的节能效果。

(5) 采用开关电源

在智能电表的设计中采用开关电源，这可以大大提高电源效率。

5 防窃电技术的设计

MAXQ3180 具备了低功耗模式和休眠模式，其中一个重要的应用就是在防失(欠)压窃电方面。当发生

失(欠)压情况时，智能电表内的电子单元失去了电压线圈的主供电方式，就必须使用电池供电的方式。

MAXQ3180 具有低功耗模式和休眠模式，更便于全失压情况下的安培小时累计。MAXQ3180 模式电源接线图如图 3 所示。

MAXQ3180 可以使用和嵌入式控制器同样的电

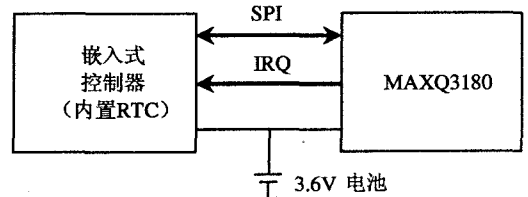


图 3 MAXQ3180 模式电源接线图

Fig.3 MAXQ3180 model of power supply wiring diagram

池供电方式，这样减少了电平转换和电源管理芯片的成本。它可以在不需要时处于休眠模式，仅消耗少于 1 μ A 的电流，而在需要时由嵌入式控制器通过片选瞬间唤醒，进入低功耗测量模式运行。由于在休眠模式下所有的参数设置均保留，所以在唤醒后不需要进行初始化就可直接工作，从而大大减少了工作时间，而且低功耗测量模式下不需要嵌入式控制器参与工作，嵌入式控制器可再次进入休眠，直到 MAXQ3180 使用中断或者使用嵌入式控制器自身资源再次唤醒，并将测量结果读到嵌入式控制器中进行存储、处理、

显示和传输。

MAX3180 全失压安培小时累计模式时序图如图4所示。

在图4中,嵌入式控制器和MAXQ3180的工作

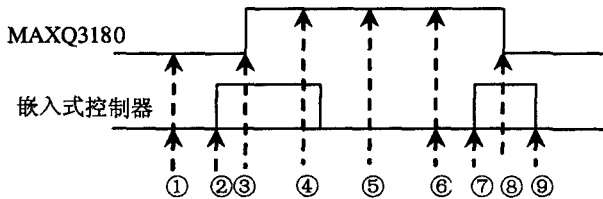


图4 MAX3180 全失压安培小时累计模式时序图

Fig.4 MAX3180 model of full loss of voltage ampere-hour cumulative mode timing diagram

时序如下:

- (1) 嵌入式控制器和 MAXQ3180 休眠;
- (2) 嵌入式控制器唤醒;
- (3) MAXQ3180 上电;
- (4) MAXQ3180 预热,只需几个 μs ;
- (5) MAXQ3180 测量只需 $0.5 \sim 1$ 个周期;
- (6) MAXQ3180 运行,嵌入式控制器休眠;
- (7) MAXQ3180 测量结束,发送 IRQ,将嵌入式控制器唤醒;
- (8) 嵌入式控制器读数据结束,MAXQ3180 回到休眠状态;
- (9) 嵌入式控制器回到休眠状态。

在系统整个工作过程中,工作电流很小,而且工作时间很短,最终使得平均电流相对于传统方案大幅降低。这样,在同等电池容量和运行时间的要求下,MAXQ3180 可以使用更高的频率来进行间歇性的安培小时累计,当频率高到一定的程度,可以近似认为这样的累计是连续的。

6 结束语

本文以 MAXQ3180 计量芯片为例,采用 ST 公司生产的 STM32F107 ARM 嵌入式控制器为主机,介绍了智能电表的软硬件设计和降低功耗的设计方法,同时介绍了防窃电技术,为智能电表的开发提供了一个

详细的案例,通过以太网接口可以很容易组成通信网络。

智能电网下的高级量测体系 AMI 包括智能电表、网络通信、电表数据管理三个系统。借助该体系能够实现智能需求侧管理,比如用电状况收集、需求侧/电网双向通信、实时电价响应、智能家电控制、虚拟电厂和微网控制、防偷电等任务。通过智能电网中的智能电表,一些电力消费会转移到价格便宜的峰谷时段,减轻用电堵塞并降低对新设施建设的需要,使得消费者省钱,排放量下降。电动混合汽车可以在用电需求较低的晚间充电,甚至还可以在白天停放期间将电能重新输回电网。智能电网不只是电网的发展机会,也是电器工业的发展机会,是信息技术的发展机会。未来我国智能电表具有非常广阔的市场,将为我国电工仪表行业带来巨大的商机,并推动我国智能电网的快速发展。

参考文献

- [1]余贻鑫. 面向 21 实际的智能配电网[J].南方电网技术研究,2006,2(6):14-16.
 - [2]肖世杰. 中国智能电网技术思考[J]. 电力系统自动化,2009,32(9):1-5.
 - [3]陈树勇,宋书芳,李兰欣,等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术,2009,33(8):1-7.
 - [4]EPRI. Power Delivery System and Electricity Markets of the Future. 1009102[R]. Palo Alto, Ca: EPRI, 2003.
 - [5]Electricite de France Research and Development. Profiling and Mapping of intelligent Grid R&D Programs 1014600 [R]. Palo Alto, CA: EPRI, 2006.
 - [6]STMicroelectronics group of companies. STM32F105_107.pdf [Z]. Datasheet, 2009.
 - [7]Maxim Integrated Products, Inc.. MAXQ3180.pdf[Z]. Datasheet, 2009.
- 作者简介:
静恩波(1964-),男,高级工程师,从事机场建设电气工作。
Email: zhjli@sdu.edu.cn

收稿日期:2010-01-09
(杨长江 编发)