

基于用户隐私保护的智能电表设计

王耀辉 金海燕 朱 莉

(东北电力大学, 吉林 吉林 132000)

摘 要:为满足智能电网用户侧需求,针对现有通用智能电表隐私保护欠缺、无法分量计量等问题,本文提出了基于粒子群优化的非侵入式分解新方法;一种基于用户隐私保护的、能够进行家用电器分量测量的新型智能电表设计方法。并给出了考虑隐私保护的粒子群寻优算法(Particle Swarm Optimization);提出基于该算法的负荷分解方法;将分解方法嵌入,设计了以 ARM9 嵌入式芯片和 ATT7002c 为核心模块的通用家庭智能电表;实现了家庭用电负荷的分量计量为智能用电环境下家庭负荷深入的数据处理提供了新途径。

关键词:智能电表;隐私保护;分量计量;硬件设计

Abstract: To meet smart grid user-side requirements and solve the existing lack of privacy protecting, separate measurement problems of common smart meter, a non-invasive new method was proposed based on particle swarm algorithm; and a new smart metering with household appliances separate measurement and privacy protection was achieved; the load decomposition method was given based on particle swarm optimization considering privacy protection; common household smart metering using ARM9 embedded chips and ATT7002c core chips was designed embedding the method. This provided a new road for deep smart grid load data processing.

Key words: smart metering; privacy protection; hardware design; separate measurement

随着电力市场化改革的推进,电力网络跟电力市场、用户之间的协调和交换越来越紧密,电能质量水平要求逐步提高,传统电力网络已经难以支撑如此多的发展要求。智能电表是智能电网数据采集的基本设备之一,承担着原始电能数据采集、计量和传输的任务,是实现信息集成、分析优化和信息展现的基础。在智能电表基础上构建的高级量测体系(advanced metering infrastructure, AMI)、自动抄表(automatic meter reading, AMR)系统能为用户提供更加详细的用电信息,使用户可以更好地管理他们的用电量,以达到节省电费 and 减少温室气体排放的目标。针对现有通用智能电表隐私保护欠缺、无法分量计量等问题,本文提出了一种基于用户隐私保护的、能够进行家用电器分量测量的新型智能电表设计方法。

1 系统组成

本系统的硬件组成框图如图 1。

1.1 核心处理器选择

本系统采用 ARM9 系列处理器,具体型号为 S3C2440A,该型号的处理器有丰富的内部设备,包括:集成了 LCD 专用 DMA 的 LCD 控制器,支持最大 4K 色 STN 和 256K 色 TFT;130 个通用 IO 口;降低了系统成本,也减小了电路板的体积。S3C2440A 的接口电路图如图 2,为方便表示,原理图分 3 层画出。

1.2 电能计量芯片

本系统采用高性能电能专用计量芯片 ATT7022A,它集成了六路二阶 ADC,能够测量各相以及合项的有功功率、无功功率、视在功率、有功能量以及无功能量,支持全数字域的增益、相位矫正。其有功、无功电能脉冲输出 CF1、CF2 提供瞬时有功、无功功率信息,同

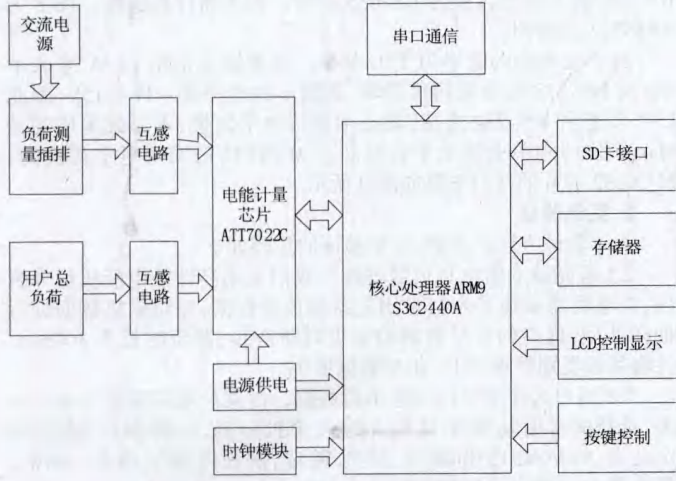
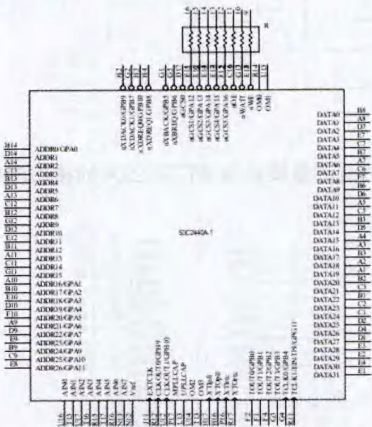
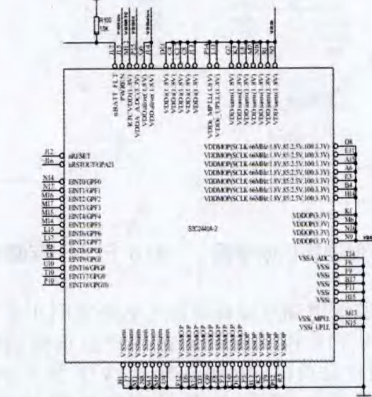


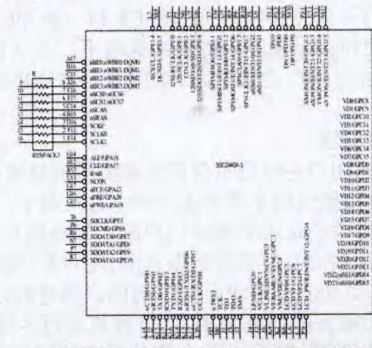
图 1 系统硬件框图



(a) S3C2440A 接口原理图第 1 层



(b) S3C2440A 接口原理图第 2 层



(c) S3C2440A 接口原理图第 3 层

图 2 S3C2440A 接口原理图

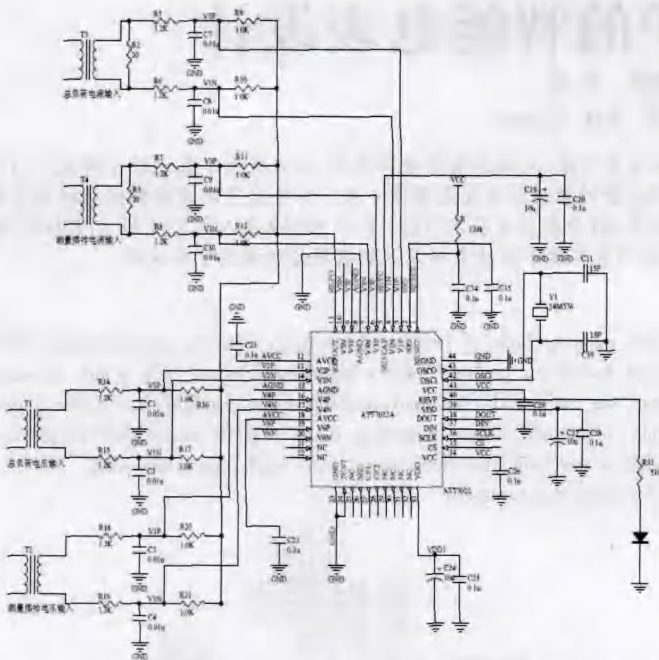


图3 负荷测量模块与 ATT7022A 的接口电路原理图

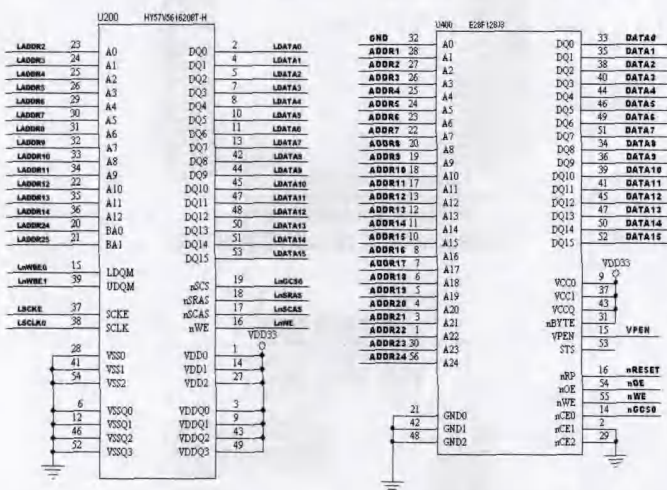


图4 SDRAM 存储器接口原理图



图5 FLASH 存储器接口原理图

时其内部的电压监测电路可以保证加电和断电时正常工作。

ATT7022A 的 VIP 和 VIN 管脚接用户总负荷的模拟电流流量, V2P 和 V2N 接用户总负荷的模拟电压量; V3P 和 V3N 管脚接测量插排的模拟电流量, V4P 和 V4N 接测量插排的模拟电压量。ATT7022A 与 S3C2440A 有 4 条 SPI 通讯接口, 分别是 CS、SCLK、DIN、DOUT, 还有一条复位控制线 RESET 和一条 SIG 线, SIG 线在 ATT7022A 上电复位或异常重启时变为低电平, 当 ATT7022A 通过 SPI 写入表数据后, SIG 会被拉高, 在这里主要是起握手信号的作用。

1.3 负荷测量模块

负荷测量包括用户用电总负荷模块和测量插排模块:

(1) 用户总负荷模块用来测量用户用电总负荷。

(2) 测量插排模块是用来测量用户的未知电器负荷数据的, 由于目前数据库中存储的电器负荷数据有限, 用户使用的电器可能不包含在数据库内, 负荷测量模块有插排构成。插排的一侧接交流电源, 一侧接到智能电表的数据采集端, 处理其通过电能计量芯片测得插排所接电器的负荷波形。并将负荷数据存储到存储器当中供负荷分解使用。负荷测量模块与 ATT7022A 的接口电路如图 3。

1.4 存储器模块

数据存储模块主要负责两大功能, 一个是将用户从基础电器负荷数据库中选择的所有家电负荷波形数据存储起来; 另一个是负责将通过测量插排测量的未知家电负荷数据存储起来, 供负荷分解使用。同时可以将所存储的未知家电负荷数据上传到路由器并上传至电力部门网站, 来完善家电负荷数据库。S3C2440A 存储器提供外部存储器访问控制模块, 共设有 8 个存储器 banks, 其中 6 个是 ROM、SRAM 等类型存储器, 2 个是可以作为 ROM、SRAM、SDRAM 等存储器, 每个 bank 有 128M 字的节, 共 1G 个字节, 并且支持 SDRAM 的自刷新和掉电模式。本系统的 SDRAM 存储器采用的是 HY57V561620BT-H 芯片, 其接口原理图如图 4 所示, 本系统使用的 FLASH 芯片是英特尔公司的 NOR 型闪存芯片 E28F128J3, 其接口电路如图 5 所示。

1.5 SD 卡模块

SD 卡模块是用来传递数据的模块, 在电表的串口不能够接到 PC 机上时, 用户在数据库中选择的家电负荷数据不能都直接下载到智能电表的存储器上, 这就需要用户将所选择的负荷数据通过 SD 卡传递到智能电表的存储器上, S3C2440A 拥有 1.0 版 SD 主接口, 兼容 2.11 版 MMC 接口, 本系统的 SD 卡接口线路图如图 6。

1.6 LCD 显示器

LCD 显示器是用户与智能电表交互的重要窗口, 用户总负荷以及有总负荷分解得来的各个家用电器的用电负荷都将通过 LCD 屏幕以时间曲线的形式向用户展示出来。S3C2410A 处理器本身内置了一个 LCD 控制器, 该控制器支持 4 灰度级或者 16 灰度级的黑白屏, 也支持 256 色或 4096 色的彩色屏。本系统选择了 5.7 英寸的 SX14Q004 液晶模块, 其分辨率: 320 × 240、亮度为 200cd/m²、对比度可以达到 40:1, 反应时间 250+200ms(T_r+T_t), 这些参数很好的满足了智能电表的要求。

1.7 串口通信模块

串口通信模块主要负责与 PC 机之间进行数据传递, 用户可以通过互联网在线下载最新的家电负荷数据库, 并从中选择自己家中所用电器的负荷数据, 通过串口线或者 SD 卡上传到智能电表的存储器上。

PC 的串行口是标准的 RS-232 接口, RS-232 标准最初是为为连接调制解调器设计的接口标准, 结构十分简单, 但是 RS-232 也有致命的缺点, 就是其有效通信距离太短, 信号衰减快, 传输速率较慢, 考虑到负荷数据实时性, 也为了便于将负荷数据实时传递给电力部门, 本设计的串口通信使用距离远的串行通信接口 RS-485, RS-485 的数据最高传输速率为: 10Mbps; 接口的最大传输距离 1200m, 通过 RS-485 接口, 这样就可以将用户的负荷数据实时的显示在 PC 端, 智能电表的通信模块原理图如图 7。

如图 7 所示, 为了将 PC 机的 RS-232 接口转换为不能直接与 RS-485 接口, 本设计采用了经济型串口转换器 NS485-Z, 它能把 RS-232 信号直接转换为 RS-485 信号, 而无需任何流控, 图 8 为 NS485-Z 实物图。

由于处理器的电平为 TTL 电平, 其逻辑 1 是用 +3.3V 来表示的, 而 RS-232 信号采用负逻辑, 逻辑 1 的电平是 -3V~-15V, 因此 CUP 要想和 RS-232 连接, 就必须进行电平转换, 本系统采用的是 Maxim 公司的单电源电平转换芯片 MAX232 来实现电平转换的, MAX232 芯片的接口电路如图 9 所示。

2 实例验证

为了验证方法的正确, 实例验证的步骤如下:

2.1 首先建立家电负荷数据库, 我们采用高性能电能质量分析仪, 在某商场采集了家庭常用电器的负荷数据, 并对采集数据进行抽样处理, 最终的负荷数据的采集周期是 6s, 测定时长为 100min, 并将其按类别整理到 PC 机的数据库中。

2.2 用户选择所使用家电负荷数据, 以某位老师家庭为用户对象, 选择的常用电器为: 冰箱(额定功率: 160W), 空调(制冷/制热额定功率: 940/960(1530))制冷、制热、除湿、洗衣机(额定功率: 360W), 热水器(额定功率: 1200W)。

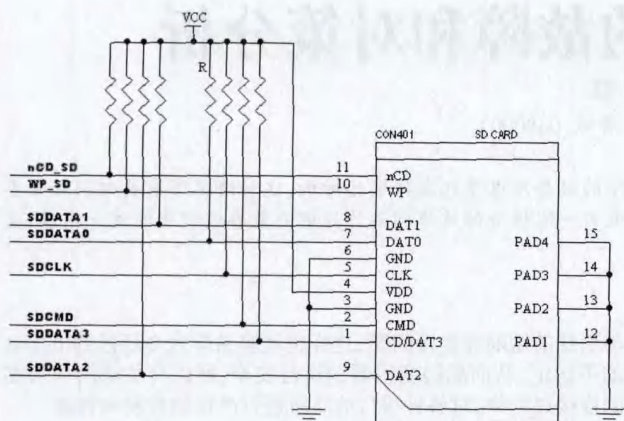


图6 SD卡接口线路图

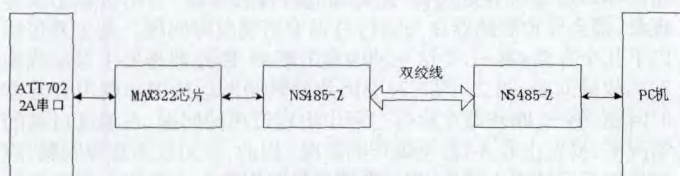


图7 通信模块原理图



图8 NS485-Z实物图

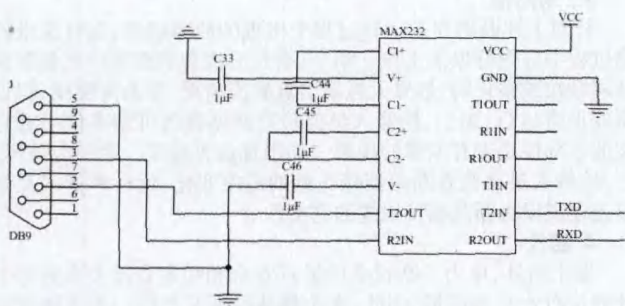


图9 MAX232芯片的接口电路

的时长,在开启 60 分钟后,CPU 会对存储器中的电器负荷数据和用户总负荷数据进行处理,具体处理方法前面已详细介绍。最终,CPU 根据本发明提出的基于进制拟合算法的非侵入式负荷分解方法,计算出 $\Omega_{best}(n)$ 和 $T_{best}(n)$,并结合存储器中存储的家电负荷数据,最终将分解后的负荷波形在 LCD 显示屏上显示出来。

结束语

目前国外智能电表的大规模推广为全球电表设计行业的发展注入了新的活力。国家电网公司建设统一坚强智能电网的规划,也给国内计量和用电信息采集设备、系统的开发带来了前所未有的机遇。随着智能电网建设步伐的加快,国内厂商在智能电表领域的研究和推广必将掀起新的热潮。各种新材料、新技术、新工艺的采用也必将极大地提升国内设备的整体水平,从而为我国智能电网的发展提供坚强的技术保障。

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] Electrotech 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.
- [8] 林宇峰, 钟金, 吴复立. 智能电网技术体系探讨[J]. 电网技术, 2009,33(12):8-14.
- [9] 胡学浩. 智能电网:未来电网的发展态势[J]. 电网技术, 2009,33(14):1-5.
- [10] 张文亮, 刘壮志, 王明俊, 等. 智能电网的研究进展及发展趋势[J]. 电网技术, 2009,33(13):1-11.
- [11] 韩丰, 尹明, 李隽, 等. 我国智能电网发展相关问题探讨[J]. 电网技术, 2009,33(15):47-53.
- [12] 李会容. 基于 DSP 的智能电表的研究[D]. 成都:电子科技大学, 2007.
- [13] 李剑. 单相智能复费率电能表的设计与开发[D]. 上海:同济大学, 2008.
- [14] 李大鹏, 王祁. 三相复费率网络化智能电能表的研制[J]. 仪器仪表学报, 2006,27(6):1811-1812.

2.3 将采集到的波形通过串行口或者 SD 卡上传到智能电表的存储器上, 通过智能电表的键盘控制来读取用户所选择的负荷数据。

2.4 采集用户总负荷数据, 采集来的数据首先存储在智能电表的存储器中, 当采集时间积累超过 60 分钟后, 开始分析数据。之所以要开启 60 分钟后才开始处理数据, 是因为本智能电表负荷分解算法中所用的数据是电器的长时间负荷数据, 负荷信号需要有一定