

DOI: 10.3969/j.issn.1006-4729.2016.02.003

基于 WSN 的智能用电监测节点的设计

雷景生^a, 苏峰^{a,b}, 刘大明^a

(上海电力学院 a. 计算机科学与技术学院, b. 电子与信息工程学院, 上海 200090)

摘要:为实现电力需求侧用电信息的智能化监测与管理,基于无线传感器网络技术,设计并实现了面向电力用户侧的智能控制用电监测节点.介绍了基于射频芯片 CC2420 和 MSP430 系列单片机,电能计量芯片 RN8209G 的智能用电监测节点的设计.该节点具有智能开关控制、电能采集、过载保护和能耗管理等功能,对设计的节点进行了硬件测试和组网通信测试实验.实验结果验证了开发的节点可实现用户侧远程用电监测与控制,并具有良好的实时性和准确性.

关键词:无线传感器网络; 远程用电监测; 智能开关控制

中图分类号: TM876.2; TP18

文献标志码: A

文章编号: 1006-4729(2016)02-0115-05

Design of Intelligent Electricity Monitoring Node Based on WSN

LEI Jingsheng^a, SU Feng^{a,b}, LIU Daming^a

(a. School of Computer Science and Technology, b. School of Electronics and Information Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: The wireless sensor network technology is analyzed to achieve intelligent monitoring and management of electricity demand side of power information, and nodes are designed and implemented with functions of intelligent control and electricity monitoring for power user side. The design of intelligent electricity monitoring node is introduced, which is based on RF chip CC2420, MSP430 single chip microcomputer and measurement chip RN8209G. The node has intelligent switch control, collection of electric energy, overload protection and power consumption management and other functions. Nodes are designed to test the hardware and networking communications testing laboratories. Experimental verification of the developed node can realize remote monitoring and control of user-side power and has a good real-time performance and accuracy.

Key words: wireless sensor network; remote power monitoring; intelligent switch control

随着国民经济的增长和科技水平的提高,各种家用电器得到广泛使用,居民用电量飞速增加,与此同时电能浪费现象日趋严重.美国用电报告显示每年电量的浪费超过 30%,加州伯克利大学

的 LoCal 项目试图通过在智能楼宇中部署无线传感器网络来找出电能浪费的根源以及如何节省这些电能^[1].面对日渐凸显的用电浪费问题以及更高的用户服务质量要求所带来的挑战,全球电力

收稿日期: 2015-09-17

通讯作者简介: 苏峰(1990-),男,在读硕士,黑龙江讷河人.主要研究方向为电力监测无线传感器网络中数据感知. E-mail: sfeng0226@163.com.

行业都在积极建设智能电网^[2]。

传统的电表只能记录总用电量,并不能掌握单个用电设备实时的用电情况,而电力系统的电压、电流、功率等参数的监测,对智能电网高效运行却至关重要^[3]。

传感器节点可以准确采集用户用电信息(电流、电压、功率、用电量等电能数据),实时用电信息的大量存储有利于电力部门分析预测,减少电能浪费,实现与用户互动,满足快速发展的用电需求,并实现资源的合理配置和集中管理,为用户提供更高质量的服务。

目前,智能用电设备往往只提供单一的保护、监测或控制功能,各设备独立工作,无法实现多个设备的联动运作^[4]。

在用电信息采集系统中,本地网络具有节点多、应用场景复杂等特点,设备的独立工作显然不能满足要求。因此,可采用短距离无线通信方式,实现节点间多级联动,多个采集终端节点组成无线自组织网络,将采集到的数据以多跳的方式发送到集中器中,由集中器实现数据存储和远程传输^[5]。

这样,电力部门可以实时掌握各区域用电情况并做出合理的供电决策,同时用户也可了解各设备的用电情况来减少电费开支^[6]。

本文将无线传感器技术与电能分布式采集相结合设计了可以实时监测各个用电设备电能数据的节点,节点数据通过多跳的自组织网络发送至网关,最后接入以太网,实现了各个节点的远程监测与控制。

1 系统框架

根据智能控制用电监测节点的需求分析,从低成本、低功耗、高可靠性角度出发,设计系统总体框架如图1所示,主要由电流电压采集电路、电源电路、调试接口电路、时钟电路、复位电路,以及处理器模块、USB转串口模块、电能计量芯片RN8209G和无线射频芯片CC2420等组成。

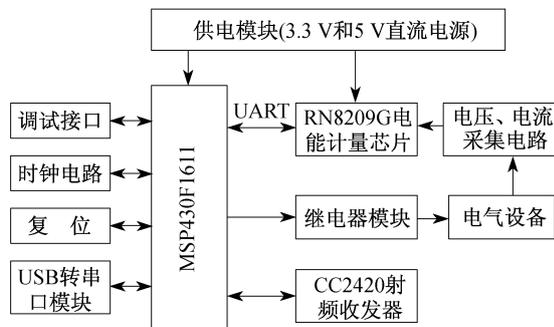


图1 系统的总体框架

2 节点硬件设计

节点硬件主要由电能计量模块电路、无线通信模块和供电模块以及串口调试电路等组成。节点由电源模块进行供电,采用美国德州仪器公司的一款低功耗MSP430F1611微处理器为核心,读取计量芯片RN8209G的电能数据,以符合2.4 GHz IEEE802.15.4标准的射频收发器CC2420进行无线通信。

采用Moteiv公司开发的Tmote-Sky作为无线通信的硬件平台。Tmote-Sky节点支持TinyOS操作系统,通过休眠机制具有良好的低功耗特性,室内最大通信距离达50 m,使用USB接口与主机通信和更新程序^[7]。该节点自带Sensirion AG生产的SHT11温湿度传感器以及Hamamatsu生产的S1087光传感器,可以达到节点运行环境的监控功能。

2.1 电源供电电路

电源采用体积小、转换效率高且能稳定输出的小功率开关电源。考虑到成本,选用高性价比的高性能电流模式PWM控制器THX208为核心。图2给出了电源模块反激式开关电源电路设计方案。

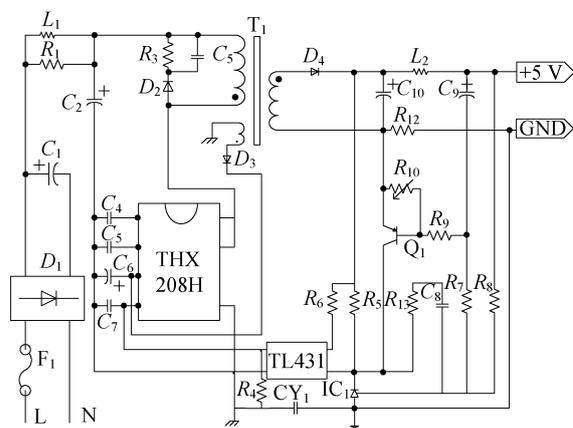


图2 5 V电源电路

2.2 电能计量模块

计量模块的设计要保证采集数据精度高、可靠性强,同时又要尽可能采用体积小、成本低的芯片。深圳锐能微出产的电能计量芯片

RN8209G 能够测量有功功率、有功能量,并能同时提供电流有效值、电压有效值、线频率、过零中断等。

RN8209G 提供两个串行接口,包括串行外设接口(Serial Peripheral Interface, SPI)和通用异步收发器(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART),本设计使用 UART 通用异步串行口与 MCU 通信,UART 通信硬件上只需两根线,一根用于发送(TX),一根用于接收(RX)。RN8209G 共有 3 路 Σ - Δ ADC,分别用于相线电流、零线电流和电压采样。

电流采样选用锰铜电阻采样,电压采样选用电阻分压采样法,两路采样都采用完全差分输入方式输入。图 3 给出了 RN8209G 电能计量电路的设计。采样的具体过程如下:负载通过该模块接入市电,电流通过锰铜采样电阻在 V1P 和 V1N 之间形成一个差动电压信号接入到电流通道上,电压经过电阻分压器 R_5 和 R_6 接入到 V2P 电压通道上,其中电阻 R_5 可用多个电阻串联构成,电压通道以零线为基准。电压和电流的采样数据由乘法器相乘得到瞬时有功功率 $p(t)$ 。有功功率通过脉冲生成器得到能量脉冲可由 PF 口输出,能量寄存器 EnergyP 记录脉冲个数,电能为脉冲个数除以电表常数。

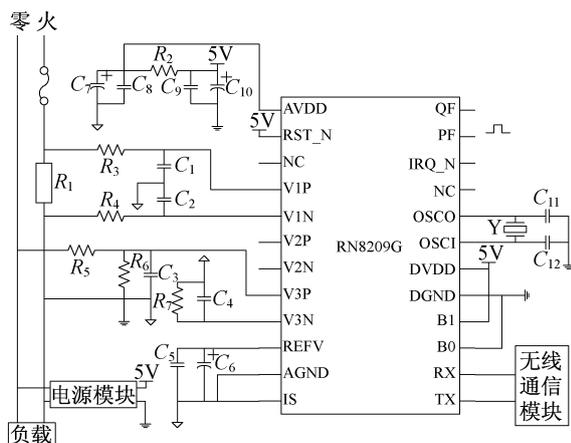


图 3 RV8209G 电能计量电路

本设计采用的计量芯片 RN8209G 采集电压、电流、有功功率和用电量等电能数据。令工频周期内采样次数为 N ,基于离散数值算法,可以得到电流有效值计算公式为:

$$I_d = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} i^2(t)} \quad (1)$$

式中: $i(t)$ —— t 时刻电流瞬时值。

电压有效值计算公式为:

$$U_d = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} u^2(t)} \quad (2)$$

式中: $u(t)$ —— t 时刻电压瞬时值。

采用实时积分算法得到有功功率为:

$$P_d = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} u(t)i(t) \quad (3)$$

MCU 通过 UART 串口对计量芯片进行配置与校正。RN8209G 的 UART 接口工作在从模式、半双工通讯、9 位 UART(含偶校验位),符合 UART 协议,帧结构包含校验和字节。RN8209G UART 通讯帧格式由 CMD(命令字节)+DATA(数据字节)+CKSM(校验和字节)组成。校验和算法如下:

$$\text{CheckSum}[7:0] = \sim(\text{CMD}[7:0] + \text{DATAn}[7:0] \dots + \text{DATA1}[7:0])$$

图 4 给出了 PCB 设计电路,强电部分与弱电部分要留出一定的空间距离,采用大面积铺地将模拟地与数字地直接连接以减少干扰。RN8209G 通过硬件管脚 B1 和 B0 配置波特率,有 4 种波特率可供选择,考虑到无线传输速率,本系统选择的波特率为 9 600 bps。

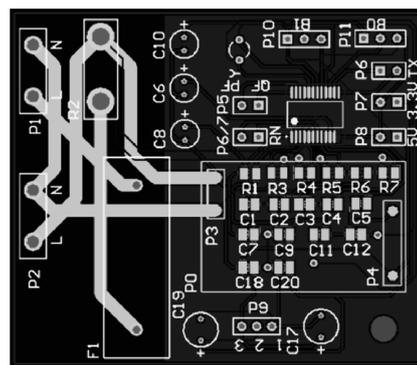


图 4 电能模块 PCB 设计示意

2.3 串口隔离调试电路

电能计量模块硬件设计完成后,需要使用 PC 机对计量芯片进行配置与调试。电能模块与 PC 机进行串口调试需要在其中加入串口隔离电路,否则会使电能计量芯片因电压过高而烧坏。串口隔离最简单也是最广泛使用的是光耦合器。选用单通道的高速光耦合器 6N137 设计串口隔离电路如图 5 所示。

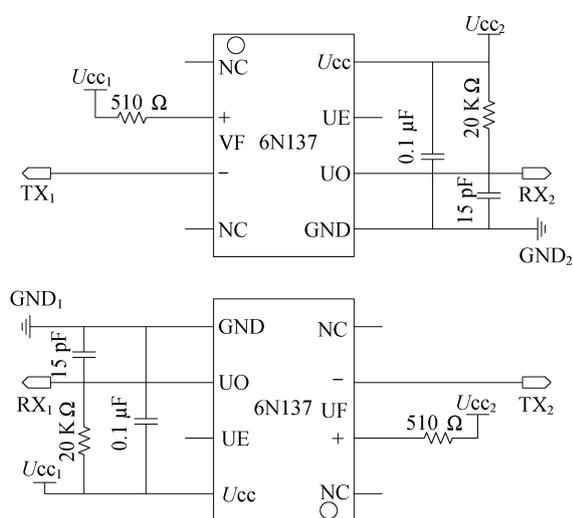


图5 串口隔离调试电路

3 节点软件设计

3.1 校表及采集算法

为了提高计量的精确度,需设计校表及采集程序,这是实现电能计量的重要步骤,经过校正的仪表,有功精度可达0.5S级.校表包括参数设置、A通道有功校正和有效值校正.其中,参数设置包括B通道ADCON设置、ADC增益选择、HFConst设置、起动电流设置、能量累加模式设置等.电表需要配置合适的有功起动功率,确保正常启动和防潜,其计算公式为:

$$P_{\text{Start}} = \frac{80\% P_0 \left(\frac{1}{K_p}\right)}{2^8} \quad (4)$$

式中: P_0 ——最小起动功率;

K_p ——功率转换系数.

HFConst的参数计算公式为:

$$H_{\text{FC}} = \text{INT} \left[\frac{14.8528 U_u U_i \times 10^{11}}{U_n I_b E_c} \right] \quad (5)$$

式中: U_u ——额定电压输入时的电压通道的采样电压;

U_i ——额定电压输入时的电流通道的采样电压;

U_n ——额定输入的电压;

I_b ——额定输入的电流;

E_c ——电表常数.

根据相应的算法对GPQA, PhsA, APOSA, IARMSOS寄存器配置来实现有功校正和有效值

校正.为防止上下电丢失电能,掉电时MCU将寄存器PFcnt/DFcnt值读回并进行保存,然后在下次上电时MCU将这些值重新写入PFcnt/DFcnt中.校表完成后,MCU可通过UART访问计量芯片相应的寄存器,得到电压、电流、有功功率及有功能量等参数,实现测量功能.

3.2 程序执行流程

程序流程图如图6所示.系统上电后,首先要对系统初始化和RN8209G初始化配置,然后通过定时器定时周期性的读取芯片的数据,并将数据封装后发送给基站,如果接收到基站传来的过载指令则输出开关量使继电器关断系统.另外,程序中有中断指令则直接终止执行程序.

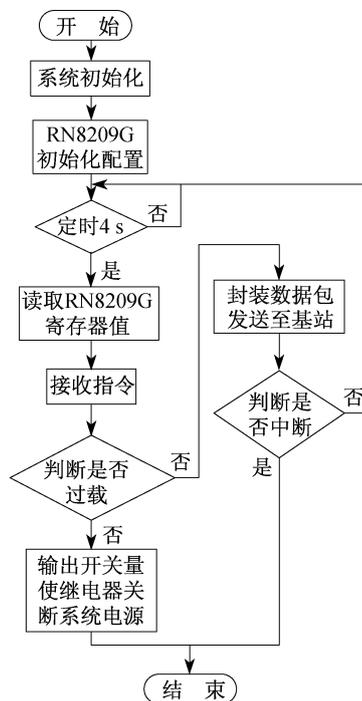


图6 程序流程

4 实验测试

为保证节点具有较高的计量精度和系统的稳定运行,在室内环境下,对10个节点进行了集中调试,分别进行了节点计量准确度测试和组网通信测试.

4.1 计量准确度测试

为了测试数据准确性,在实验室环境下利用日置功率计作为标准表分别对饮水机负载、空调

负载进行了测试,测试时间为 5 h,标准表与节点测试数据的平均值比较如表 1 所示.通过比较结果可知,设计的节点与标准表所测数据误差不超过 $\pm 0.3\%$,测量精度满足 0.5S 级标准的设计要求.

表 1 实验测试结果比较

负载	设备	电流/ A	电压/ V	有功 率/W	5 h 总用 电量/ kWh
空调	标准表	3.691	223.24	787.0	4.55
	节点	3.684	223.24	785.0	4.50
饮水机	标准表	1.325	220.82	292.3	0.31
	节点	1.321	220.81	291.8	0.30

4.2 通信组网测试

能耗节点在很大程度上应用在建筑物内,需要考虑节点的通信距离与穿墙能力.根据上述设计方案,以实验室现有的条件对多个节点进行了通信距离测试和穿墙测试.单个节点的实物图如图 7 所示.在实验室环境下,大小为 16 m \times 10 m 的范围内设置了 1 到 3 堵墙进行实验,测试了节点的不同通信距离与穿墙数的丢包率,实验结果如图 8 所示.由图 8 可以看出,通信距离越大、穿墙数越多,节点的丢包率越高.为保证节点的稳定运行,节点的分布不应超过 2 堵墙.如果受环境限制需要穿越墙数较多的,可以采取增加功率放大模块的方法使节点的穿墙能力提升,同时节点的功耗也会增大.



图 7 节点实物

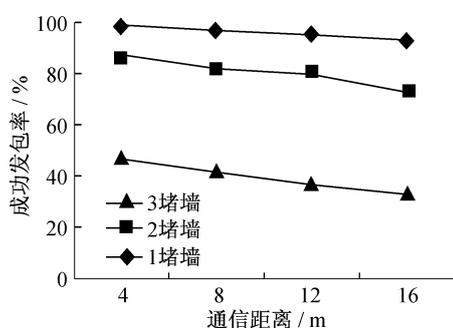


图 8 无线通信测试结果

5 结 语

智能控制用电监测节点可以实现远程用电监测,控制相关用电设备,以期达到实时监控和合理用电的目的,具有长远意义.本文设计了基于射频芯片 CC2420 和电能计量芯片 RN8209G 的智能控制用电监测节点,实现了节点电流、电压和用电量等电能数据的采集与传输.通过上位机可以对各个节点的数据进行实时监控与管理.下一步研究工作的重点在于无线路由协议的优化和通信能力的提高,使其在复杂的室内环境下减少部署节点的数量并能保持系统的稳定运行.

参考文献:

- [1] 刘云浩. 物联网导论[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 45-46.
- [2] 李东东, 崔龙龙, 林顺富, 等. 家庭智能用电系统研究及智能控制器开发[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(4): 123-129.
- [3] YERRA RVP, BHARATHI A K, RAJALAKSHMI P, et al. WSN based power monitoring in smart grids[C] // Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing. Adelaide, SA: IEEE, 2011: 401-406.
- [4] 刘志斌, 雷景生, 杜海舟. 基于 TinyOS 的用电监测无线传感器节点设计[J]. 上海电力学院学报, 2015, 31(1): 68-72.
- [5] 孙毅, 卢可, 唐亮瑞. 面向用电信息采集的 WSN 非均匀分簇多跳路由算法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(10): 52-61.
- [6] 黄翔云, 刘大明, 郝阳阳. 无线传感器网络电能检测节点设计[J]. 上海电力学院学报, 2015, 31(1): 77-80.
- [7] 吴江川, 孙雷, 王鸿鹏, 等. 基于 Tmote-Sky 的温湿度及光强检测系统[J]. 自动化与仪表, 2008, 23(7): 8-12.

(编辑 桂金星)