

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802331

基于无线通信技术的配电网电流监测系统

鲍毅 张家洪 许晓平 赵振刚 李川 李英娜

(昆明理工大学信息工程与自动化学院 昆明 650500)

摘要: 电力设施作为重要的民生设施,对其工作电流的实时监测具有重要的意义。基于无线传感网络技术,研究开发了由多个电流采集节点以及一个集合无线通信技术的主控模块组成的无线传感网络,实现对配电网电流的监测。其中电流采集节点利用电流互感器采集节点处的电流信号,并通过 ZigBee 技术将采集结果发送到中央处理单元的协调器单元,经中央处理单元对数据进行处理后采用 GPRS 技术将数据发送至配网主站服务器,同时采用 GSM 方式将数据发送给移动终端,比如配网相关工作人员的手机。设计开发了相应模块的硬件电路以及软件程序,测试结果表明,研发的电流监测系统最小可测电流为 200 mA,动态范围达 24 dB。

关键词: 电流监测; 无线传感网络; ZigBee; GPRS

中图分类号: TN919.5 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 120.30

Current monitoring system for the distribution network based on wireless communication technology

Bao Yi Zhang Jiahong Xu Xiaoping Zhao Zhengang Li Chuan Li Yingna

(College of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: As an important living facility, electric power facility is of great significance to the real-time monitoring of its working current. Based on wireless sensor network technology, a wireless sensor network consisting of multiple current acquisition nodes and a master control module of integrated wireless communication technology is developed to monitor the current of distribution network. The current acquisition node using current transformer current signal acquisition node, and through the ZigBee technology will collect the results sent to the central processing unit coordinator of the unit, by the central processing unit to deal with the data after using GPRS technology sends the data to match the webmaster station server, at the same time using GSM sends the data to mobile terminals, such as mobile phone distribution network related staff. This paper designs and develops the hardware circuit and software program of the corresponding module. The test results show that the minimum measured current of the developed current monitoring system is 200 mA and the dynamic range is up to 24 dB.

Keywords: current monitoring; wireless sensor network; ZigBee; GPRS

0 引言

配电网作为电力输送和分配的重要民生设施,对人们日常生活的方方面面都起着至关重要的作用,人们对于供电系统的稳定性以及安全性也提出了更高的要求。而配电网的电流检测在配电网的故障检测定位以及防窃电等方面都起到重要的作用。现有配电网中多采用在配电机箱内安装电能表的方式来检测电流等信息。随着现代网络技术、无线通信技术、传感器技术和嵌入式系统技术的快速发展,无线传感网络(WSN)也得以快速发展^[1-2]。在无线传感器网络技术中,ZigBee 技术以其近距离、低复杂度、自组织、

低功耗、低数据速率、低成本等特点在军事、工农业控制、智能家居、生物医疗以及环境监测等多个工程应用领域得到了广泛的应用^[3-5]。余攀等^[6]利用无线传感网络搭建了农田远程检测系统;武风波等^[7-8]使用 ZigBee 实现了远程无线温湿度测控系统以及基于 ARM 技术与 ZigBee 相结合的矿井环境监测系统;杜梓平^[9]实现了基于无线传感网络的航道水下数据监测系统,GPRS 作为远距离传输方式也得到了广泛应用^[10-12]。

本文基于 ZigBee 技术,设计了一款电流检测系统。系统以 STM32 微控制器作为控制和数据处理中心;以电流互感器和 CC2530 微控制器构建无线传感节点采集电流信

号;以 ZigBee 搭建无线传感网络实现数的短距离无线传输;最后以 GPRS 技术连接互联网,实现数据上传。

1 系统整体设计

本系统主要包括电流采集模块、中央处理单元和服务器/移动端 3 个部分组成。电流采集模块作为系统的终端设备,主要用于采集电流信息;中央处理单元主要负责系统网络的构建以及相应数据的处理;服务器/移动端则作为系统采集数据的保存以及采集结果的显示和最终处理的媒介。系统的整体框图如图 1 所示。

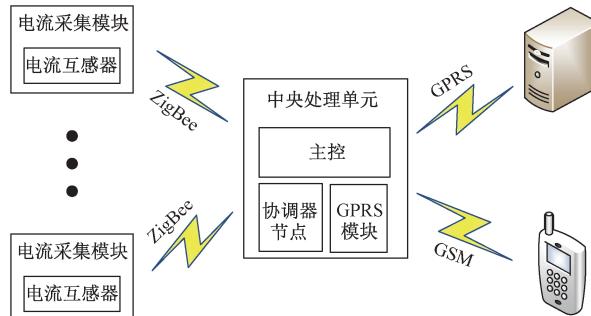


图 1 系统整体框图

系统工作时,若干个电流采集模块分别加入到中央处理单元的协调器节点所组建的 ZigBee 网络中,随后开始周期性的采集相应位置的电流信号,并通过 ZigBee 无线通信协议发送信号到中央处理单元;中央处理单元接收到相应的信号后,经过处理通过 GPRS 方式将数据发送到服务器端,如果采集电流超过预先设计的阈值,将通过 GSM 的方式向相应的手机号发送报警短信。

2 系统硬件设计

系统硬件主要由电流采集模块和中央处理单元两部分组成,两个模块之间通过 ZigBee 网络通信,结构框图如图 2 所示。

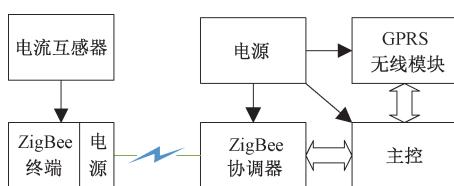


图 2 系统硬件结构框图

2.1 电流采集模块

电流采集模块由电流互感器、ZigBee 终端以及电源组成。其功能流程为电流互感器获取待测端的电流信息,该信息由 ZigBee 终端采集后进行初步处理后传输到中央处理单元的协调器。

电流互感器(current transformer, CT),是依据电磁感

应原理制作的,由闭合的铁芯和绕组组成,其原理如图 3 所示。

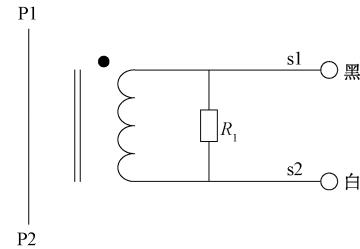


图 3 传感器结构原理

其中,P1-P2 为一次绕组;s1-s2 为二次绕组; R_1 为采样电阻。其工作原理是通过一次线圈的交流电流在闭合铁芯中形成回路磁场,磁场通过二次线圈,在二次线圈中产生感应电流,通过采样电阻可在二次线圈两端产生电压。其输出电压 U 与输入电流 I 的关系式如下:

$$U = \frac{I}{N} \times R_1 \quad (1)$$

式中: U 为互感器二次绕组输出电压; I 为一次绕组输入电流; N 为绕组的匝数比; R_1 为采样电阻。根据实际需求设计匝数比 $N = 3000$;采样电阻 $R_1 = 150 \Omega$ 。此外设计一种开合式结构以便于安装、拆卸。

2.2 中央处理单元

如图 2 所示,中央处理单元由主控、ZigBee 协调器、GPRS 无线模块和电源四部分组成。其中主控通过 UART 与 ZigBee 协调器通信,获取采集电压值,通过拟合的关系式转换为一次侧的电流值,并经过相应的比对处理后,组合成数据包通过 USART 方式发送给 GPRS 模块进行相应数据的上传。本系统采用 STM32F103 作为该模块的主控处理器。作为 ARM 系列面向工业控制的处理器,有着高达 72 MHz 的运行频率,内部集成了丰富的片内外设,包括一个 72 MHz 的 USART、两个 36 MHz 的 USART 以及两个 36 MHz 的 UART,可以与丰富的外设进行通信。

ZigBee 属于物联网中一种典型的无线组网技术。它基于 IEEE 802.15.4 标准,主要应用于低速传输,适合用作无线传感器网络的通信协议^[13]。完整的 ZigBee 协议从下至上依次是物理层、介质访问控制层、网络层、安全层和高层应用规范,每层设计有自己的协议,共同完成无线通信^[14]。结合 ZigBee 协议栈(Z-Stack),能以非常低的成本建立强大的无线通信网络。本系统中选用 TI 公司推出的 CC2530 片上系统芯片。该芯片集成了增强型的 8051 MCU 内核、以及拥有 12 位采集精度的片内 AD,还集成了无线射频收发器,支持 ZigBee 协议,工作在全球通用 2.4 GHz 频段;具有功能强大、成本低、功耗低、抗干扰性能好、外部电路简单等优点^[15]。本系统中,选用外置 SMA 天线以确保 ZigBee 网络的通信距离以及通信质量。此外,由于 CC2530 片上系统的低功耗设计,本系统采用可充电锂

离子电池与稳压电路组成电源为系统供电。

ZigBee 协调器的主要作用是构建与管理 ZigBee 网络,以及接收传感器节点发送的数据。协调器创建 ZigBee 网络,管理着各个传感器节点的加入和退出,并接收处理各个节点传送回来的数据,同时通过 UART 与中央处理单元进行通信。由于 CC2530 内部集成的是 UART,且时钟频率为 36 MHz,因此选用 UART 方式与其通信较为合适。ZigBee 协调器把通过 ZigBee 网络接收的电流采集模块的采集电压值的 ASCII 码通过 UART 发送给中央处理单元。

GPRS 无线模块用以将中央处理单元处理的数据上传至服务器,如果该数据超过设定的阈值,还将通过短信功能向设置的号码发送报警短信。本系统选用 SIM800A 模块,

该模块是一款两频 GSM/GPRS 模块,外观小,性价比高,其工作频率为 900/1800 MHz,可以实现低功耗语音、短信以及数据传输等功能,可通过串口传输标准的 AT 命令进行控制。

中央处理单元中,主控单元、ZigBee 协调器单元以及 GPRS 无线模块均需要供电,因此,耗电量相对较大,并且为了保证系统在环境较为恶劣的无电力供电下也能正常工作,电源部分拟采用太阳能电池板作为供电。考虑到各个部件的工作电压,采用 12 V 太阳能板和可充电锂电池作为电源模块,并使用 RT7272 芯片及其外围电路产生 5 V 电压直接为 GPRS 模块供电,另外使用 1117-3.3 芯片产生 3V3 电压为主控和 ZigBee 协调器供电。中央处理单元电路图如图 4 所示。

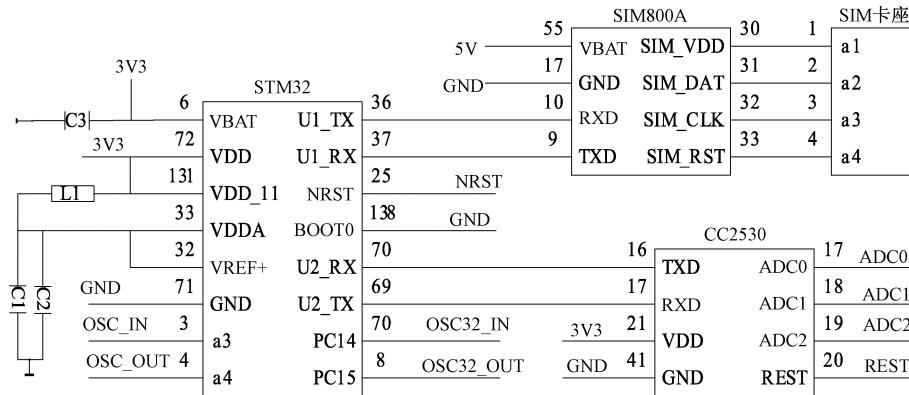


图 4 中央处理单元电路

3 软件设计

本系统的软件设计分为电流采集模块和中央处理单元两个部分。

3.1 电流采集模块软件设计

电流采集端主要功能是周期性地采集电流信号,并打包数据包发送给 ZigBee 协调器,其具体流程如图 5 所示。

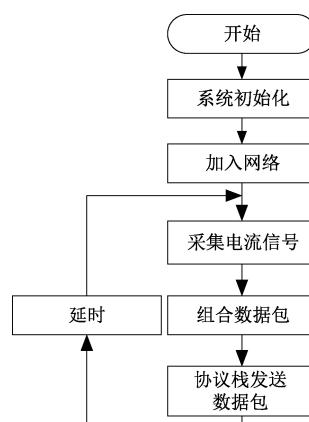


图 5 电流采集模块软件流程

电流互感器通过电磁感应后产生的输出电压为模拟信号,CC2530 通过内部集成的 12 位精度的片内 AD,采集传感器输出的模拟信号的瞬时值,并通过处理得出有效值,最后和地址信息等合并成一个数据包,通过 Z-Stack 协议栈发送。协议栈的运行周期可通过修改协议栈内的相关参数来控制。

3.2 中央处理单元软件设计

1) 协调器软件设计

ZigBee 协调器端的主要功能是组建 Zig-Bee 网络以及中转采集信号。协调器管理各个传感器节点的加入与退出网络,并接受网络中节点发送过来的数据。

当有节点发出加入网络申请时,则加入节点到网络;当接收到数据时,则对数据进行处理,并通过串口发送到主控。

2) 主控软件设计

主控单元的作用是控制各个模块之间的协调运作,同时对采集数据进行拟合得出相应结论,并最终将数据传输到服务器。GPRS 部分由主控通过串口发送标准 AT 命令来控制,其流程框图如图 6 所示。

主控通过向 GPRS 模块发送 AT 命令初始化模块,并建立 TCP 连接。在建立连接时,需经过“三次握手”,需要

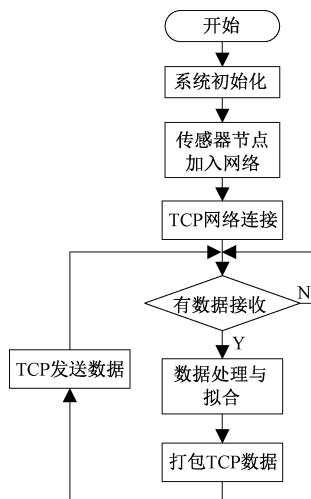


图 6 中央处理单元软件流程

客户端与服务器进行 3 次通信做相应的处理后,才能建立连接,是一种可靠连接。当主控有数据接收时,主控先进行数据处理,通过数据拟合后得出测量的电流值。

4 实验测试

电流互感器的采集精度与系统对电流互感器输出信号的采集准确度会直接影响系统的准确度,对系统的可靠性具有重要的意义;而系统各个模块的运行稳定性以及 GPRS 通信的准确性则是系统稳定性的重要因素。中央处理单元实物图如图 7 所示。

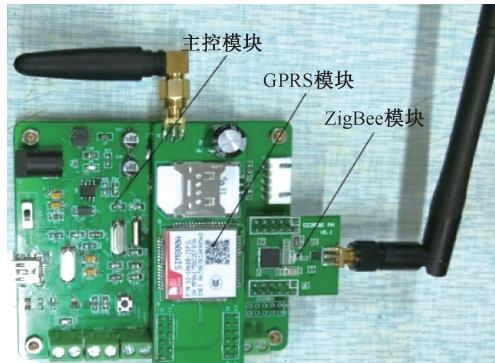


图 7 中央处理单元实物

在实验室环境下,通过模拟实验对该电流采集系统的准确性和稳定性进行测试。测试实验平台如图 8 所示。

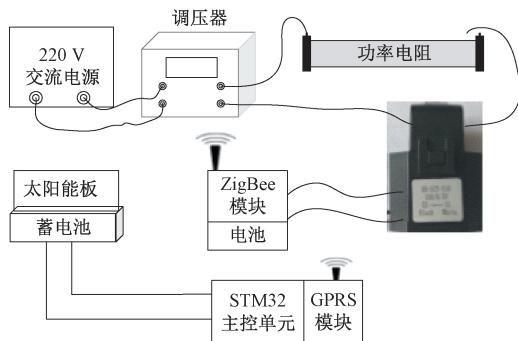


图 8 实验平台

实验使用 220 V 交流电源、调压器以及功率电阻来产生不同大小的电流,使开口式电流互感器的测量孔穿过导线,以获得感应输出,并将电流互感器的输出信号线与 ZigBee 模块的 AD 采集口相连;ZigBee 模块将采集到的电流信号通过 ZigBee 无线传输的方式发送给中央处理单元。测试实验平台实物如图 9 所示。



图 9 实验平台实物

实验测试结果如表 1 所示,输入电流为互感器处的导线电流值;互感器输出电压是通过式(1)计算的理论输出值;系统输出电压是通过系统测量得到的实测输出值。

表 1 实验测量结果

输入电流/A	1.00	2.15	2.97	3.98	5.01	6.15	7.11	7.94	9.14
理论电压/V	0.050 0	0.107 5	0.148 5	0.199 0	0.250 5	0.307 5	0.355 5	0.397 0	0.457 0
测量电压/V	0.048 0	0.106 0	0.148 0	0.198 0	0.252 0	0.303 0	0.341 0	0.374 0	0.436 0

数据拟合如图 10 所示,曲线分别为互感器输出理论值与输入电流的关系曲线以及系统测试电压值与输入电流的关系。

由图 10 可知,系统输出电压与输入电流之间具有较

好的线性关系,其拟合曲线的斜率为 0.047,斜率的标准差为 0.004 36;曲线截距为 0.007,截距标准差为 0.000 77。由此可知,曲线拟合斜率和截距的标准差非常小,反映出了测量值的离散度较小,曲线具有较好的线性度,确保了

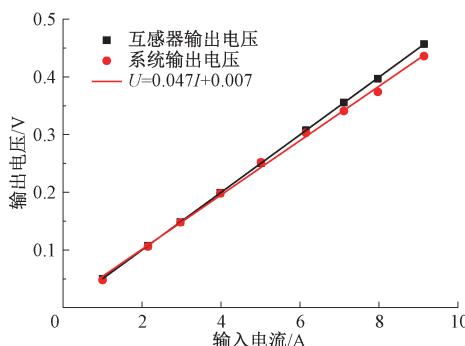


图 10 数据拟合

系统检测的准确性。考虑到系统噪声约为 10 mV, 在 3 dB 的信噪比要求下, 系统最小可测电流为 200 mA, 由于控制器的 AD 模块参考电压为 3.3 V, 得出其动态范围为 24 dB。

图 11 所示为实际电流值与系统测试电流值的测量误差。实际电流值与系统测量电流值的差值范围为 ± 0.175 A, 并且经过多天测试, 各个模块都正常工作, 数据采集和传输也稳定运行, 系统稳定性较好。

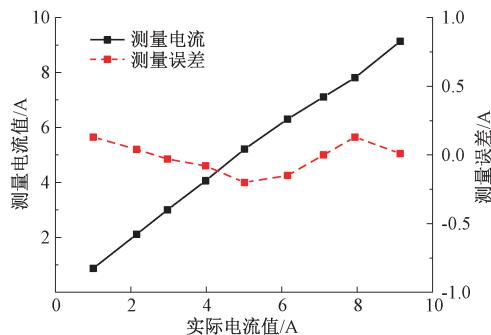


图 11 测量误差

5 结 论

本文设计并通过软硬件实现了一种基于无线通信技术的电流监测系统。测试表明系统最小可测电流为 200 mA, 动态范围为 24 dB。系统采用 ZigBee 技术实现高低压间的信息传递, 采用 GPRS 技术实现将检测数据远传至服务器, 同时通过 GSM 方式将数据发送给指定的工作人员。利用无线通信技术搭建无线传感网络, 可进一步实现恶劣环境下多组电流的采集监控。

参考文献

- [1] 王骥, 林杰华, 谢仕义. 基于无线传感网络环境监测系统[J]. 传感技术学报, 2015, 28(11): 1732-1740.
- [2] 马祖长, 孙怡宁, 梅涛. 无线传感网络综述[J]. 通信学报, 2004, 25(4): 114-124.
- [3] 高金转, 彭旭锋, 张会新, 等. 基于 ZigBee 无线传感网络的环境监测系统的设计[J]. 电子器件, 2016, 39(3): 546-550.
- [4] 金俊. 基于传感器和 ZigBee 的实时定位和环境监测的冷链系统研究[J]. 工业控制计算机, 2018, 31(9): 113-116.
- [5] 丁飞, 吕自力. 基于无线传感网络和 CAN 总线技术的综采面喷雾降尘系统[J]. 传感器与微系统, 2018, 37(10): 105-110.
- [6] 余攀, 邹承俊, 张玲, 等. 基于无线传感网络的农田远程监测系统设计[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(5): 223-226.
- [7] 武风波, 强云霄. 基于 ZigBee 技术的远程无线温湿度测控系统的设计[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2008, 38(5): 731-734.
- [8] 武风波, 周云如. 基于 ARM 的矿井环境监测系统设计[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2015, 45(4): 551-554.
- [9] 杜梓平. 基于无线传感网络的航道水下数据监测系统[J]. 舰船科学技术, 2018, 41(2A): 118-120.
- [10] 李相, 张春光. 基于 GPRS 的供暖网无线监控管理系统[J]. 工业控制计算机, 2018, 31(8): 43-44.
- [11] 陈琦, 丁天怀, 李成. 基于 GPRS 的供暖网无线监控管理系统[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2009, 49(2): 223-225.
- [12] 袁婧, 王楠, 孙卓. 基于 GPRS 技术的自动气象站数据采集系统探讨[J]. 农业科技与信息, 2018, 17(16): 40-41.
- [13] Yi Z h, KIM I. Diversity order analysis of the decode and forward cooperative networks with relay selection [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(5): 1792-1799.
- [14] 孙静. 基于 ZigBee 的无线传感网络的设计与实现[J]. 现代电子技术, 2016, 39(15): 18-20, 24.
- [15] Texas Instruments. CC2530 Data Book [Z]. Dallas: Texas Instruments, 2009: 16-152.

作者简介

鲍毅, 硕士, 主要从事嵌入式系统技术研究。
E-mail: 1178296680@qq.com