Design of Energy Measurement and Control System Based on RN8302 and Python*

ZHONG Yongyan, WU Ya, CHEN Juan, QIU Aibin, CAO Liyong*
(*School of Electric Engineering, Nantong University, Nantong Jiangsu* 226019, *China*)

Abstract: An energy measurement and control system based on RN8302 and Python was designed to solve the problems existing in traditional measurement systems, such as lack of precision and single communication method. The system collecs the grid voltage and current signals through RN8302 in real time, the metering and alarming data are transmitted to the MCU through the SPI interface, and the data are sent to the measurement and control center through Wi-Fi. The measurement and control center is designed based on Python to implement functions such as data storage, viewing and display. At last, using this system to monitor the power usage of three buildings in a school, the experimental results show that the system is stable, reliable, and has strong practical value.

Key words: smart meter; measurement and control center; Python; RN8302
EEACC: 8390 **doi**: 10.3969/j.issn.1005-9490.2019.04.013

基于 RN8302 和 Python 的电能测控系统设计*

钟永彦*, 吴 亚, 陈 娟, 邱爱兵, 曹礼勇
(南通大学电气工程学院, 江苏 南通 226019)

摘 要: 针对传统电能测控系统存在准确度不足、通信方式单一等问题, 设计了基于 RN8302 和 Python 的电能测控系统。该系统采用计量芯片 RN8302 实时采集电网电压、电流信号, 经 SPI 接口将计量、报警等数据传输至 MCU, 再由 Wi-Fi 将数据上传至测控中心。测控中心采用 Python 设计人机交互界面, 实现数据的存储、查看以及显示等功能。最后, 采用该系统对某学校三栋楼电能使用情况进行监控, 实验结果表明, 系统工作稳定、可靠, 有很强的实用价值。

关键词: 智能电能表; 测控中心; Python; RN8302
中图分类号: TP273 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9490(2019)04-0877-05

随着科技的进步以及人们生活质量的提高, 电能消耗日益增加, 电能管理逐步受到社会各界的重视, 电能测控也逐渐成为研究热点。文献[1]设计了基于 RS-485 的用电信息采集终端, 信息采集成功率高达 100%, 然而线路成本高, 不适宜长距离传输。文献[2-3]将红外通信技术应用到抄表领域, 降低了人工成本, 提高了抄表效率, 但红外通信距离短, 导致推广受限。文献[4]采用 3G 技术将各节点采集的信息发送至服务器, 但是 3G 技术标准不统一, 且容量受到限制。文献[5-6]采用计量芯片和 GPRS 技术实现了电能的智能监控, 然而 GPRS 通信需向运营商缴纳费用, 使用成本高。文献[7-8]采用 ZigBee 技术实现了电能在线监测, ZigBee 具有功耗低、组网灵活、性价比高[9]等优点, 可是 ZigBee 通信传输速率低且穿透性差。因此, 文献[10-11]结合 ZigBee 和 GPRS 两种通信方式对电能进行远程监控, 尽管如此, 上述问题仍然存在。随着智慧城市、智慧校园以及智慧小区的推广, 使得 Wi-Fi 的覆盖面更加广泛, 且 Wi-Fi 通信开销低, 稳定性高[12]。因此, 本文结合 RS-485 与 Wi-Fi 设计一种可在多种工作模式之间切换的电能测控系统。该系统能实现电能计量、实时 CT 开路检测、谐波测量等功能; 测控中心可监测电能表各项数据并显示, 实现实时电能数据获取, 一方面电力部门可以有效地对电能质量、用电情况进行管理, 另一方面便于用户查看自家用电量及电费使用情况。

1 总体设计方案

系统主要包括终端设备和测控中心两部分, 系统方案如图 1 所示。终端设备即智能电能表, 可工作在

项目来源: 国家自然科学基金项目(61473159); 南通市应用研究计划项目(JC2018119)
收稿日期: 2018-07-11 **修改日期**: 2019-03-27

有线和无线两种模式。有线工作模式下,智能电能表通过 RS-485 组网,计量数据通过采集器上传至测控中心;无线工作模式下,智能电能表通过 Wi-Fi 与测控中心进行通信,其一般布置在信号较强但不方便布线的区域。测控中心位于云端,通过 Web 发布,访问浏览器即可实现数据共享及远程测控。

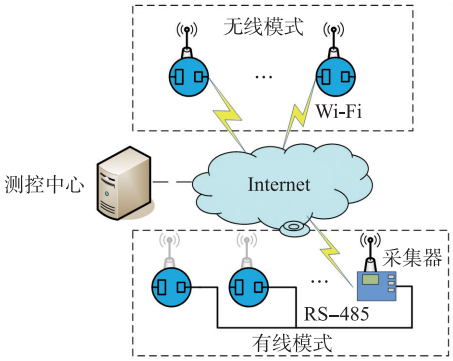


图 1 系统方案图

2 智能电能表设计

智能电能表是测控系统的核心,主要由计量单元、主控单元、通信单元、存储单元、显示单元、模式单元等构成,结构框图如图 2 所示。

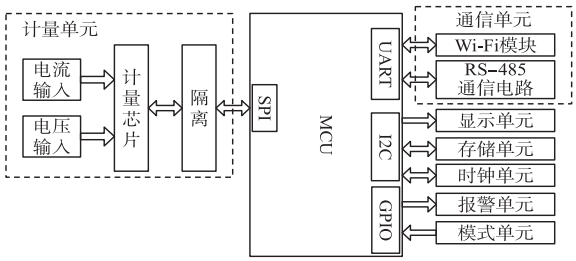


图 2 电能表结构框图

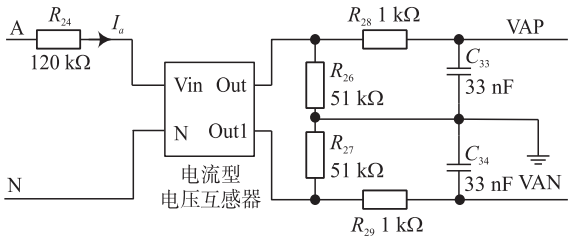
计量单元主要用来获取电能参数。主控单元选用 STM8S207S8 单片机,协调电能表各单元之间的工作。存储单元采用 I^2C 总线存储器 AT24C1024,保存电能表各项数据。时钟芯片 DS1302 为系统提供实时时钟,可由测控中心校时。显示单元从存储单元读取数据并在 LCD 屏显示。模式单元通过拨码开关设置智能电能表工作模式,0 为有线模式、1 为无线模式。

2.1 计量单元设计

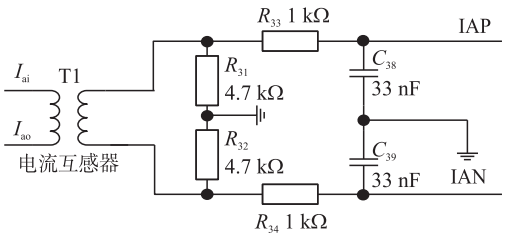
计量单元以计量芯片 RN8302 为核心,包括电压采样电路、电流采样电路、计量芯片以及隔离电路 4 个部分。该单元采用三相四线制接线方式,通过电压、电流采样电路采集电网电压、电流信号。计量芯片 RN8302[13] 对采集的信号进行处理,计算电压电流间相角、功率、频率、电压相序、谐波等电能信息,存储在对应的寄存器中。该单元通过 SPI 接口实现与 MCU 的通信,为防止 SPI 传输受干扰而出现抖动,设计 *RC* 电路进行滤波,并采用 6N137 进行光耦隔离,保证数据传输的可靠性。

电压采样电路如图 3(a)所示,电网相电压经限流电阻 R_{24} 转换为电流信号流入电流型电压互感器(PT),采样电阻 R_{26}、R_{27} 将 PT 输出的电流信号转换为电压信号,经 R_{28}、C_{33} 及 R_{29}、C_{34} 构成的低通滤波电路滤波后输入计量芯片 VAP、VAN 引脚。其中,PT 除了具备测量的功能外,还能起到隔离的作用,选用 2 mA:2 mA 电流型电压互感器 DL-PT202G。

电流采样电路如图 3(b)所示,电网一次侧大电流经电流互感器(CT)转换成二次侧小电流流入采样电路。其中 R_{31}、R_{32} 为负载电阻,用于将互感器二次侧电流信号转换为电压信号,电压信号经 R_{33}、C_{38} 和 R_{34}、C_{39} 构成的 *RC* 低通滤波器滤波后输入到计量芯片 IAP、IAN 引脚。



(a)电压采样电路



(b) 电流采样电路

图 3 采样电路

以 A 相电路为例说明电压采样电路主要参数及其设计过程。由于选用 2 mA:2 mA 电流型电压互感器,当 A 相电压为 220 V 时,R_{24} 最小取值为:

$$R_{24\,\min}=\frac{220\ \text{V}}{2\ \text{mA}}=110\ \text{k}\Omega \tag{1}$$

考虑到设计余量,R_{24} 选用 120 kΩ,此时

$$I_a=I_a'=\frac{220\ \text{V}}{120\ \text{k}}=1.83\ \text{mA} \tag{2}$$

而计量芯片 RN8302 正常工作时最大输入电压峰峰值 V_{pp} 为 800 mV,因此,R_{26}、R_{27} 的最大取值为:

$$R_{26\max}=R_{27\max}=\frac{800\ \text{mV}}{2\sqrt{2}\times 2I_a'}=77.3\ \Omega \tag{3}$$

R_{26}、R_{27} 选用 51 Ω 的电阻,此时二次侧压降为:

$$V_{AP}-V_{AN}=2\times 1.83\ \text{mA}\times 51\ \Omega=186.66\ \text{mV} \tag{4}$$

由分析可知,电压采样电路满足设计要求。

2.2　通信电路设计

通信电路用来实现智能电能表与测控中心的信息交互,是系统的重要组成部分,设计包括有线工作模式下的 RS-485 通信电路设计和无线工作模式下的 Wi-Fi 通信电路设计。

2.2.1　RS-485 通信电路设计

设计 RS-485 通信电路作为智能电能表有线工作模式下的通信电路,电路如图 4 所示,MAX485 芯片将 TTL 电平转换为差分接口信号,TVS-SM712 芯片用于保证线路的可靠性,防止雷击的破坏。

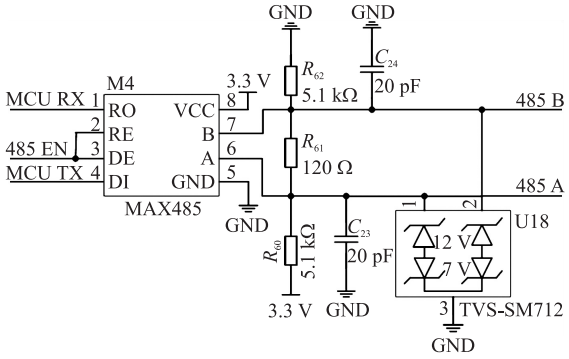


图 4　RS-485 通信电路

2.2.2　Wi-Fi 通信电路设计

选用 USR-C322 设计 Wi-Fi 通信电路,该模块采用 3.3V 单电源供电,将其 TXD、RXD 引脚分别接到单片机 UART3 的 RX、TX 引脚即可实现与 MCU 的通信。通过网页配置,使其工作于 STA 模式,接入无线路由器实现 UART3 与测控中心之间的数据传输。

2.3　智能电能表软件设计

电能表软件设计包括通信协议的设计及单片机程序的设计。

2.3.1　通信协议设计

智能电能表与测控中心的数据传送采用“通信握手”机制,即通过“请求-应答……发送数据-确认收到”实现收据的可靠发送与接收。考虑到节点性质,系统定义了统一的通信帧协议,采用变长度结构,帧结构如表 1 所示。

表 1　通信数据帧结构表

帧头	设备号	性质	数据长度	数据	校验	帧尾
HD	DDC_ID	CH	N	DATA	P	TL

其中,帧头与帧尾分别用 HD 和 TL 表示;DDC-ID 为智能电能表的 ID 号;性质 CH 通过性质符来定义;数据长度 N 表示数据区的字节数,N 随着实际情况而改变;DATA 为具体的通信数据;P 为校验位,本系统采用和校验。

2.3.2　单片机软件设计

单片机软件设计采用模块化思想,针对各单元模块编写相应的头文件,供主程序调用,用来实现定时获取/发送电能表数据和测控中心命令的处理和执行。其主要思想包括以下步骤:

S1　智能电能表的初始化,包括串口初始化、IO 口初始化、中断初始化和 Wi-Fi 初始化;

S2　刷新时间(1 s)到,进行 SPI 通信,读取计量芯片数据,处理,并存放缓存数据,同时,电能表数据显示刷新;

S3　根据拨码开关确认工作模式;

S4　若工作于有线模式,当接收到抄表命令,则读取缓存数据,RS485 通信,数据上传至采集器或集中器;

S5　若工作于无线模式,首先判断是否连接测控中心,若未连接,则重新连接,三次未连接,则停止,并报警闪烁;

无线模式下,当抄表时间(15 min)到或者接收到实时抄表命令,则读取缓存数据,Wi-Fi 通信上传至测控中心,其程序流程图如图 5 所示;

S6　若接收到校时命令,读写 DS1302,修改电能表时间。电能表校时采用广播形式,每天上午 10 点进行校时。

以上步骤 4 和步骤 5 分别对应工作于有线模式和无线模式的电能表分别通过 RS485 通信和 Wi-Fi 通信将数据上传。

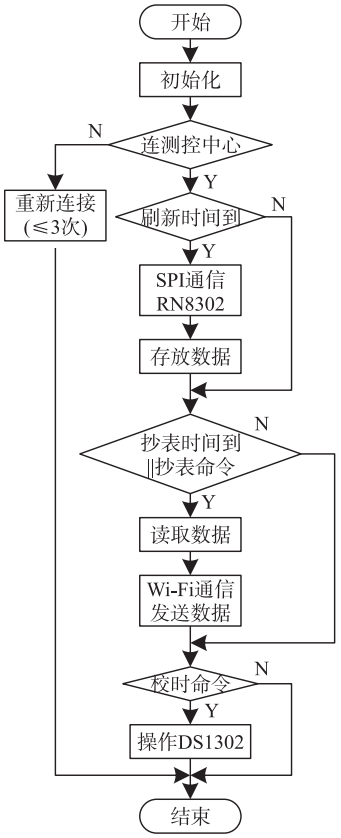


图 5　电能表无线工作模式程序流程图

3 测控中心设计

测控中心设计包括通信设计、界面设计和数据库设计 3 个部分。

Python 提供了两个基本的 Socket 模块，通过套接字 Socket 采用多线程编程方式实现通信设计。首先应用 Socket 建立连接并接收数据，然后采用 Python 语言通过切片等方式解析数据，同时将解析后的电压、电流、功率(有功、无功等)、功率因数、频率、电量(尖峰、峰、谷、平、总和)以及报警信息实时保存至数据库。

测控界面采用 HTML、CSS、BootStrip 构建，基于 Flask 框架通过 Python 语言获取数据库数据并将其显示在构建的可视化界面上，主要由实时数据、历史数据、参数设置等界面组成。其中，实时数据界面显示最新电能信息。历史数据界面供用户查询历史数据。参数设置界面可设置峰、谷、平的时段，通信地址、波特率等参数。各界面均可实现手动抄表的功能。

数据库采用 MySQL 设计，用于保存智能电能表上传的实时、历史、报警等数据。为了数据安全，自定义函数对数据进行加密，只有信息确认正确，才能查看相应的数据。

4 系统测试

4.1 智能电能表测试

为了测试智能电能表的准确度，采用高精度功率标准源 STR3030A 作为电力信号发生器，对每只电能表进行电能计量实验，以其中某只电能表的电压、电流信号为例，实验结果如表 2 所示。

表 2 电压、电流测试结果

相线	电压			电流		
	实际值/V	测量值/V	误差/%	实际值/A	测量值/A	误差/%
A	60	60.03	0.05	0.5	0.502	0.4
B	60	60.04	0.07	0.5	0.498	-0.4
C	60	59.98	-0.03	0.5	0.501	0.2
A	90	90.08	0.09	1	1.002	0.2
B	90	90.18	0.20	1	1.003	0.3
C	90	89.92	-0.09	1	0.999	-0.1
A	120	120.10	0.08	2	2.001	0.05
B	120	119.95	-0.04	2	2.003	0.15
C	120	120.03	0.03	2	1.997	-0.15
A	180	180.12	0.07	5	5.003	0.06
B	180	179.91	-0.05	5	5.002	0.04
C	180	180.08	0.04	5	4.998	-0.04
A	220	220.15	0.07	10	10.005	0.05
B	220	219.87	-0.06	10	9.996	-0.04
C	220	220.13	0.06	10	9.993	-0.07

试验结果表明，智能电能表测量误差很小，误差范围小于 1%，结果稳定，达到预期目标。

4.2 测控中心测试

智能电能表组装完成后，测试其是否能和测控中心通信。为保证通信连接的可靠性，智能电能表每 15 s 发送一次心跳数据给测控中心，若 1 分钟内测控中心没有收到任何数据，则判定此电能表通信断开，启动报警。智能电能表与 Socket 通信的部分数据如图 6 所示。

图 6 Socket 通信

基于 Python 的测控界面可将 Socket 通信接收到的数据可视化，便于数据分析与管理。一旦有新的实时数据传输过来界面立即刷新，确保达到实时更新的目的，历史数据界面如图 7 所示。从测试结果看出，系统通信正常，可以进行数据交互。

图 7 历史数据界面

5 结束语

本文设计了一种电能测控系统，能实现 Wi-Fi 和 RS-485 混合组网的电能监测。该系统既保持了有线的稳定性，同时又具有灵活性，能适应各种安装场合。采用该系统对某学校三栋楼用电情况进行监控。经过测试，该系统稳定可靠，能有效地获取电能信息，并保存于数据库，一方面供电力部门和用户随时查看，另一方面可以为校园节能分析提供数据依据，具有一定的推广意义。本文设计的智能电能表属一体化电能表，参阅国际标准 IR46，下一步将设计计量功能与其他功能相互独立的智能电能表，确保电能表的计量功能不受其他功能更新的影响。

参考文献:

[1] 阮治军,何小龙. 用电信息采集终端 RS-485 抄表辅助端子功能的扩展设计[J]. 自动化与仪器仪表,2016(10):20-21.

[2] 傅文渊,王爽,李国刚,等. 采用红外通信的智能化抄表器电路设计[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2012(4):384-387.

[3] 张来勇,李玉忍. 红外通信在电力抄表系统中的应用[J]. 电气传动自动化,2002(4):53-54.

[4] 刘卫兵,许春香. 基于物联网的智能电表实时监测系统[J]. 仪表技术与传感器,2017(12):72-75.

[5] 诸德宏,张介环. 具有远程升级功能的小区电能监测系统[J]. 电子器件,2014,37(4):733-736.

[6] 朱瑞昌,林勇. 面向电力设备的一体化智能监控系统[J]. 仪表技术与传感器,2018(3):67-70,121.

[7] 滕志军,张力,宋锐,等. 基于无线传感器网络的智能用电在线监控系统[J]. 电子器件,2017,40(6):1567-1570.

[8] 钱承山,毛海强,张永宏,等. 基于物联网技术的校园用电监控系统设计[J]. 电子器件,2017,40(5):1266-1271.

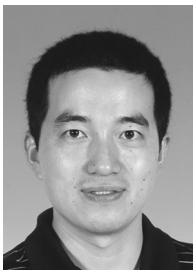
[9] 高金转,彭旭锋,张会新,等. 基于 ZigBee 无线传感网络的环境监测系统的设计[J]. 电子器件,2016,39(3):546-550.

[10] 汪玉凤,姜林. 基于 ZigBee 和 GPRS 的无线抄表系统[J]. 仪表技术与传感器,2010(10):49-50,59.

[11] 邵长亮,戴科星,陈杨,等. 基于 ZigBee 与 GPRS 的低压多回路综合监测系统设计[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版),2016,8(6):524-528.

[12] 李先茂,费敏锐. 面向智能小区的 WiFi 自动抄表系统研究[J]. 自动化仪表,2012(9):49-52,59.

[13] 深圳市锐能微科技有限公司. RN8302 用户手册[S]. 2011:1-69.



钟永彦(1979-),男,江苏海安人,副教授,主要从事智能检测与控制技术、建筑电气与智能化等方面研究,zhong.yy@ntu.edu.cn。