

基于窄带物联网技术的电量监控系统设计

王宪保, 张展豪

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

摘要: 针对现有电力仪表存在信号采集精度低, 数据传输方式落后的特点, 开发了一款集成无线通信功能的电力仪表; 该仪表的硬件由供电电源、电量采集与计量单元、通信单元、控制与存储单元等组成; 采用主控芯片 STM32F030 和新型数字式多功能计量芯片 V9203, 实现数据采集处理与本地存储; MCU 通过窄带物联网 (Narrow Band Internet of Things, NB-IoT) 无线通信模块将仪表采集到的数据上传到 OneNET 云平台, 实现用户在远程情况下随时通过前端网页登录系统查看每块仪表电量采集信息, 便于监测与管理; 经实验测试证明, 此款电力仪表能够高效、准确地采集到电流、电压、有功功率和功率因数, 并将这些数据实时上传至云平台。

关键词: 电量采集; 窄带物联网; 无线通信; 云平台

Design of Power Monitoring System Based on Narrow Band Internet of Things Technology

Wang Xianbao, Zhang Zhanhao

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: For the existing power meters, the signal acquisition accuracy is low and the data transmission mode is backward, a power meter with integrated wireless communication function has been developed. The hardware of the meter consists of power supply, power collection and measurement unit, communication unit, control and storage unit. The main control chip STM32F030 and the new digital multi-function metering chip V9203 are used to realize data acquisition and processing and local storage. The MCU uses the NB-IoT wireless communication module to upload the data collected by the meter to the OneNET cloud platform, to realize the user to view the power collection information of each meter through the front-end webpage login system at any time in the remote situation, which is convenient for monitoring and management. The experiments proves that this power meter can collect power parameters such as current, voltage, active power and power factor efficiently and accurately and upload these data to the cloud platform in real time.

Keywords: power collection; NB-IoT; wireless communication; cloud platform

0 引言

近年来, 随着物联网和云计算技术的突飞猛进, 智能电力仪表技术日新月异, 抄表方式也由最初的人工抄表演进为通过 RS485 总线技术, 再到如今常用的蓝牙、Zigbee、GPRS、LoRa 等无线通信技术^[1]。其中蓝牙技术覆盖范围只有几十米, 仅适用于小范围。ZigBee 技术的衍射能力和穿墙能力弱, 不适用于障碍物密集度区域。GPRS 因费用过高以及数据安全等问题, 不适用于抄表。LoRa 技术由于使用的是非授权频段, 涉及到合法性问题, 并且随其部署的增多会导致产生频谱干扰。因此需要一种结合物联网与云运算特性

的新兴物联网通信技术, 支撑起电网精益化管理与运营。

窄带物联网作为一种 5G 时代新兴的物联网通信技术, 采用 3GPP 网络标准, 利用运营商现有的基站网络, 减少了基础设施建设, 并于 2017 年开始进行大规模部署商用, 其容量大、覆盖范围广、穿透力强、成本低廉、兼容性强、低功耗的特点, 非常适合电力仪表的数据抄读^[2]。目前, 国内对 NB-IoT 技术的应用方向十分广泛, 而将其集成在电力仪表的研究较少。因此, 本文重点研究 NB-IoT 技术在电力仪表中的应用, 设计了一种基于移远 BC26 系列通信模块和 V9203 计量芯片的电力仪表, 对仪表的各硬件电路与软件算法进行详细论述。最后, 在电量采集实验平台上对装置计量结果的精确性与准确性进行了验证, 并将电量数据上传至云平台。

1 电力仪表功能设计

此电力仪表主要由电源电路、采样电路、NB-IoT 无线通信电路和主控电路四部分组成。系统以 STM32F030 为智能电力仪表的 MCU, 并以铁电 RC16 作为 EEPROM。采样电路以 V9203 作为计量芯片。采用基于联发科 MT2625

收稿日期: 2020-01-14; 修回日期: 2020-03-02。

基金项目: 国家自然科学基金(61871350); 浙江省科技计划项目(2019C011123); 浙江省基础公益研究计划项目(LGG19F-030011)。

作者简介: 王宪保(1977-), 男, 山东菏泽人, 博士后, 副教授, 主要从事模式识别、神经网络、物联网方向的研究。

张展豪(1993-), 男, 江苏徐州人, 硕士, 主要从事物联网方向的研究。

芯片平台的 BC26 作为 NB-IoT 无线通信电路的模组。MCU 分别通过 SPI、I2C 与计量芯片和存储芯片进行通信, MCU 与 NB-IoT 模块之间通过串口发送“AT”指令进行交互实现数据传输。智能电力仪表硬件结构如图 1 所示。

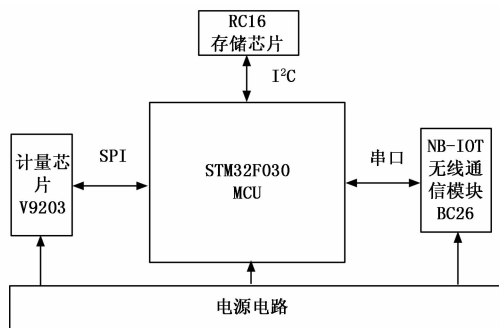


图 1 智能电力仪表硬件结构图

1.1 主控与存储芯片

本设计所用的主控芯片 stm32f030 是一款 32 位的基于 ARM Cortex-M0 内核的微控制器, 该内核采用哈佛架构, 工作频率可达到 48 MHz, 存储器可外部扩展。该芯片可工作在 2.4~3.6 V 的电压下。在通信接口上, 该芯片支持 UART、I2C、SPI 等通信方式。该主控芯片功能强大、价格低廉、性能稳定、外设资源丰富, 非常适合此款电力仪表的设计条件。

选用具有非易失性的铁电存储器 MB85RC16 对数据进行存储, 与传统的 EEPROM 相比, MB85RC16 的写入速度更快甚至能够进行无限次擦写操作, 满足电力仪表频繁写入并保存电能数据的需求。且在掉电瞬间仍然可以保存数据, 无需添加超级电容, 降低仪表本身硬件成本。

1.2 电量采集电路设计

综合考虑, 单 SOC 计量芯片架构不适用于功能复杂的电力仪表设计, 单 MCU 方案软硬件设计复杂, 此设计采用单片机加计量芯片的方案, 单片机只需要驱动和读取计量芯片内部寄存器的数据, 模数转换和复杂的计算由计量芯片完成, 减少单片机执行的任务。本电力仪表采用的是杭州万工科技有限公司推出的 V9203 计量芯片。该芯片内部集成了一个数字信号处理器用于计算处理各电量参数, 其计量精度高, 有功无功在 10 000:1 的动态范围内, 全波或基波的有功电能误差低于 0.1%, 跳差低于 0.05%, 能够测量各相全波或基波的电流电压的有效值和有功功率、无功功率、视在功率、功率因数、频率等。该芯片除提供正常工作模式外, 还支持电流预判模式、测量电流有效值模式和深度睡眠模式。并且该芯片支持软件校表, 适用于三相三线或三相四线的应用, 其功能如图 2 所示。

此芯片电流电压采集测量管脚能够承受最大电压差为 ±200 mV, 通过配置控制寄存器模拟增益与数字增益使得传感器输出信号与 ADC 满量程信号匹配。模拟信号转换为数字信号后, 通过调整延时改变电流电压信号之间的相位差。V9203 采用计算瞬时功率平均值获得有功功率。通过

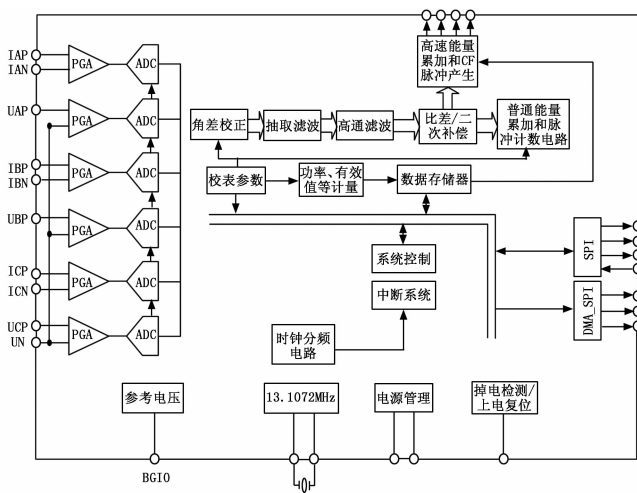


图 2 计量芯片功能框图

将采集到的电压信号做 -90° 相移再计算瞬时功率平均值获得无功功率。有功、无功电能计量采用电能累加模式, 是通过芯片内电能累加寄存器获得^[3]。电能累加即将计算得到的数值和寄存器中的电能值相加, 新的值存到寄存器中。

1.2.1 电力仪表电流采样

电力仪表 A 路电流互感器电流信号采样电路如图 3 所示, B、C 相同理。

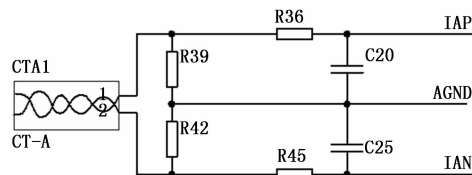


图 3 电流采样电路原理图

采用的电流互感器为 ZMCT103Z, 额定输入电流 5 A, 额定输出电流 5 mA, 支持 1.2 倍长时间输入, 线性度为 0.2%, 精度为 0.4%。A 相电流通过电流互感器耦合为对应比例的二次侧电流小信号, 经过负载电阻 R39、R42 转换为 mV 信号, 再经过阻容低通滤波电路处理后接入到计量芯片管脚。

全波电流有效值的计算公式为:

$$I_{arms} = PGAdia \times PGAia \times Aia \div 1.185 \quad (1)$$

基波电流有效值的计算公式为:

$$BI_{arms} = \frac{PGAdia \times PGAia \times Aia \div 1.185}{1.175435} \quad (2)$$

式中 PGAdia 为 A 相电流通道的数字增益, PGAia 为 A 相电流通道的模拟增益, Aia 为 A 相电流模拟输入信号的幅度 (V), 1.185 为基准电压 (V)^[4]。

根据上述方法计算得到的是各通道信号的有效值, 经过比差校正和二次补偿后, 存于全波电压/电流有效值寄存器 (R/W) 和基波电压/电流有效值寄存器 (R/W)。

1.2.2 电力仪表电压采样

电力仪表 A 相电压采样电路如图 4 所示, B、C 相

同理。

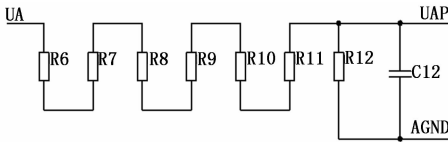


图 4 电压采样电路原理图

电压测量采用电阻分压方式，经 6 个串联的 200 kΩ 电阻分压成对应比例的 mV 信号，再经过由 100 欧电阻与 0.1 微法电容组成的低通滤波器滤除干扰信号，最终有用信号输入到计量芯片 V9203 的电压采样端口。

电压通道模拟信号的计算公式为：

$$U_a = PGA_{ua} \times A_{ua} \times \sin\omega t \quad (3)$$

式中， PGA_{ua} 为 A 相电压通道的数字增益， A_{ua} 为 A 相电压模拟输入信号的幅度 (V)。

1.3 显示功能设计

友好的人机交互显示界面是电力仪表的重要组成部分，本设计的显示界面采用 256 位的断码式液晶显示屏。单片机 STM32 的 GPIO 口与液晶显示模块 HT1622 的片选、位选、数据口连接，通过模拟时序的方式进行显示数据与控制指令的通讯，从而控制液晶显示屏显示对应界面与数据。HT1622 的显示程序包括初始化程序、写数据程序、清零程序、结束时序程序等。液晶显示芯片电路原理如图 5 所示。

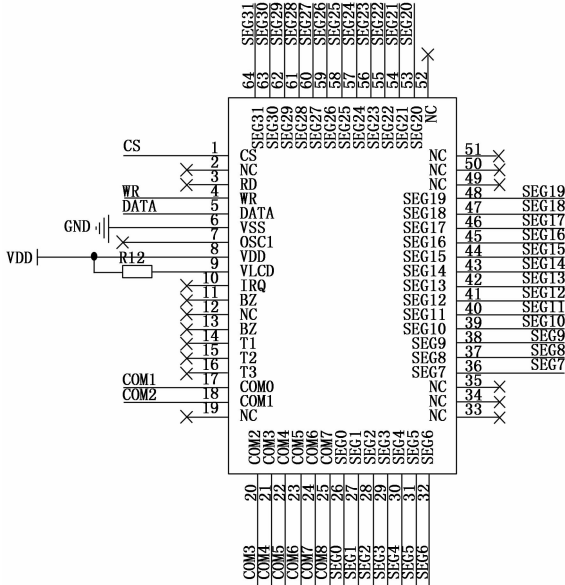


图 5 液晶显示芯片 HT1622 电路原理图

1.4 误差校调功能设计

为解决仪表电子元器件精度问题导致采样误差，采用软件校表的方式获得仪表与标准源的误差值，计量芯片 V9203 根据误差值计算出校准系数，再将校准系数存入单片机 FLASH 中。当程序运行时，将校准系数写入 V9203 的寄存器中，计量芯片按照配置过的校准系数运行和计算，能够达到要求的计量精度。

1.5 NB-IoT 通信单元

NB-IoT 在物联网领域中是一项新兴的技术，其成本低、覆盖面积广、支持海量连接，但带宽低、数据传输速度慢、工作频率较低，适用于各类仪表设备的远程抄表与智慧管理，很好地解决了仪表数据的远距离传输问题^[5]。NB-IoT 云管端的组网方式由用户设备终端、NB-IoT 基站、核心网、物联网云平台以及行业应用设备构成。NB-IoT 设备终端通过空口连接到基站，并通过 S1-lite 接口与 IoT 核心网进行连接，将非接入层数据转发给高层网元处理。IoT 核心网承担与终端非接入层交互的功能，并将 IoT 业务相关数据转发到 IoT 平台进行处理。IoT 平台汇聚从各种接入网得到的 IoT 数据，并根据不同类型转发至相应的业务应用器进行处理^[6]。应用服务器是 IoT 数据的最终汇聚点，根据客户的需求进行数据处理等操作。NB-IoT 的一个突出特点是采集后的数据可以直接上传到云端，无需通过网关，简化了部署流程^[7]。NB-IoT 设备安装物联网卡后接入 NB-IoT 网络，并通过基站收发信息，再通过核心网连接基站与物联网云平台，物联网云平台通过运算与处理将最终数据发送到用户设备终端。NB-IoT 的网络架构如图 6 所示。

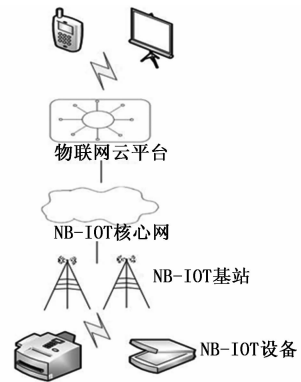


图 6 NB-IoT 网络架构图

NB-IoT 与目前主流物联网技术 4G、WIFI、GPRS 的性能参数比较如表 1 所示。

表 1 当前主流物联网技术对比

技术	带宽	覆盖	功耗
4G	>10Mbps	广域	高
WIFI	>10Mbps	局域	高
GPRS	<1Mbps	广域	较低
NB-IoT	<100kbps	广域	低

无线通信部分采用移远的 BC26 模块实现通信，相比于 4G 模块通信发送信号瞬间电流需要 3 A，2G 通信模块需要 2 A，而 BC26 仅需 0.5 A，减轻了电源电流输出的要求。BC26 是一款低功耗窄带物联网 (NB-IoT) 通信模块，采用易于焊接的 LCC 封装，尺寸只有 2.0 mm×15.8 mm×17.7 mm，支持丰富的外部接口和协议栈，具备 OpenCPU 的功能同时也可以接入 OneNET、EasyIoT、OceanConnect

等物联网云平台, 是物联网应用领域的合适选择, 其工作温度范围在 $-35 \sim +75 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间, 适合电力仪表工作环境^[8]。BC26 的供电电压范围为 $2.1 \sim 3.63 \text{ V}$, 本设计采用典型供电电压 3.3 V , 模组内嵌 USIM 接口, 支持 1.8 V 的 USIM 卡。本设计中单片机与 BC26 模块之间通过串口进行数据交互, STM32F030 和 BC26 模块均使用 3.3 V 供电, 可以直接将 BC26 模块的发送和接收管脚连接到单片机的串口对应管脚进行串口通信。BC26 提供唤醒状态、轻休眠状态和深度休眠状态 3 种工作状态, 在省电模式 (PSM) 状态下电流仅为 $3.8 \text{ } \mu\text{A}$ 。NB-IoT 模块 BC26 电路原理如图 7 所示。

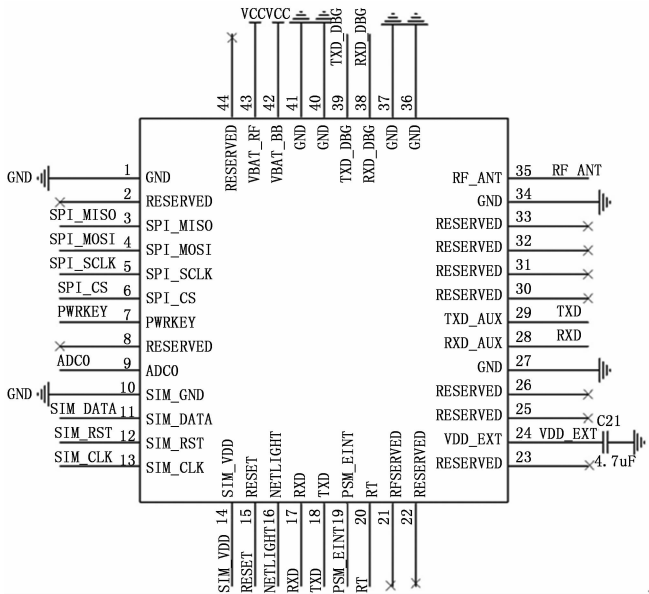


图 7 NB-IoT 模块 BC26 电路原理图

2 数据上传至云平台

本设计通过 BC26 对数据发送, 单片机通过串口发送“AT”指令实现用户设备与云平台连接, 本方案使用的是物联网开放平台 OneNET。OneNET 是中国移动打造的定位为 PaaS 服务的物联网云平台, 在物联网应用与设备之间搭建完成了高效、稳定、安全的桥梁, 其可扩展性的架构解决了大部分的接入难题^[9]。该平台适配常用传输协议, 使得终端设备快速接入, 方便管理。在应用层, OneNET 提供了丰富的 API, 能够满足各行各业对应用系统的需求。API 作为应用程序接口, 由预先定义的一些函数组成。通过这些功能集使得各不同平台实现数据共享, 开发人员无需深入理解内部细节的情况下能够访问例程, 调用并获取数据^[10]。OneNET 就是这种开放式 API, 具有设备接入、监控管理、实时控制、数据存储分析、消息分发等功能, 帮助开发者快速构建各种 IoT 设备。物联网行业研发人员在 OneNET 的基础上可以将重心投入到物联网终端设备的研发上, 而减少在环境搭建上的耗时, 缩短研发周期, 降低企业运维成本。设计中采用的 LwM2M (Lightweight Machine-To-Machine) 协议是一种轻量级的 M2M 协议, 主要面向的对象是窄带物联网领域下的物联网应用^[11]。

LwM2M 协议通过引导接口、客户端注册接口、客户管理与服务实现接口、信息上报接口来实现数据的传输。BC26 接入云平台的流程如图 8 所示。

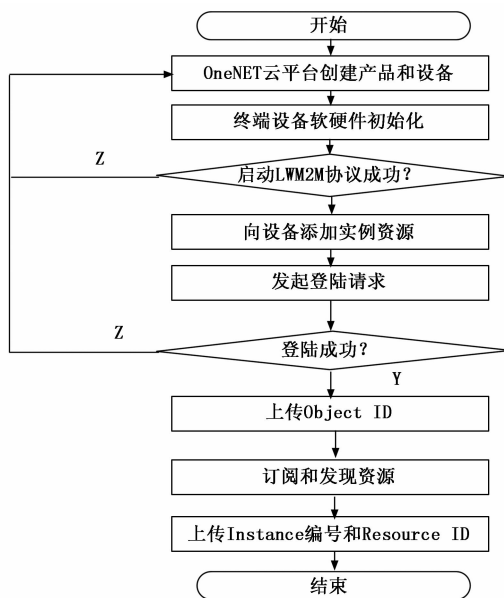


图 8 BC26 接入云平台的流程

BC26 模块通过使用 AT 指令采用 LwM2M 协议对接 OneNET 云平台的步骤如下所示:

- 1) 使用 AT+CGPADDR=1 指令检查分配的 IP 地址以获得默认的 PND;
- 2) 使用 AT+MIPLCREATE 指令创建 OneNET 通信套件实例;
- 3) 使用 AT+MIPLADDOBJ 指令添加一个 LwM2M 对象
- 4) 使用 AT+MIPLOPEN 指令发送注册请求;
- 5) 使用 AT+MIPOBSERVERSP 指令回应观察资源的反馈;
- 6) 使用 AT+MIPLDISCOVERRSP 指令响应发现请求;
- 7) 使用 AT+MIPLNOTIFY 指令发送数据到 OneNET 平台;
- 8) 使用 AT+MIPLUPDATE 指令发送更新数据请求。

3 实验

3.1 仪表电量参数测量结果

实验使用精度为 0.005% 三相标准源 (STR3030A), 在常温状态下对电表的电流、电压、有功功率、无功功率等电量进行测量。

其中计算误差的公式为: 误差 = (施加值 - 测量平均值) / 额定值。

3.1.1 电流有效值精度分析

由于三相电流采样原理相同, 这里对 A 相电流数据进行分析。在电压相同的情况下, 选取电流分别为 1A 、 2A 、 3A 、

4A、5A 时进行测量。电流参数测试结果如表 2 所示。

表 2 电流有效值的实验测量结果与误差

施加值/	1	2	3	4	5
测量值 1/A	0.992	1.992	2.993	3.993	4.999
测量值 2/A	0.991	1.995	2.994	4.001	4.997
测量值 3/A	0.994	1.994	2.993	3.996	5.000
测量值 4/A	0.995	1.995	2.997	3.995	5.001
平均值/A	0.993	1.994	2.994	3.996	4.999
误差/%	0.14	0.12	0.12	0.08	0.02

3.1.2 电压有效值精度分析

电压的测量和电流一样只选用 A 相数据分析，结合电力仪表在实际情况下测量的电压，选择 100 V、200 V、220 V、380 V 的结果进行分析。电压参数测试结果如表 3 所示。

表 3 电压有效值的实验测量结果与误差

施加值/	100	200	220	380
测量值 1/ V	99.3	200.3	220.2	380.1
测量值 2/ V	98.9	199.7	219.8	379.5
测量值 3/ V	99.4	200.1	219.9	379.2
测量值 4/ V	99.5	200.4	220.0	379.3
平均值/ V	99.275	200.125	219.975	379.525
误差/%	0.329 5	-0.056 8	0.011 3	0.215 9

3.1.3 基本电量参数分析

基本电量参数分析同样选取 A 相测量结果，对仪表 A 相施加 220 V 电压，5 A 电流，夹角 60°来测量有功功率、无功功率、视在功率和功率因数。电量参数测试结果如表 4 所示。

表 4 电量参数的实验测量结果与误差

施加值	P 550/W	Q 952/W	VA 1100/W	PF 0.5
测量值 1	551	948	1095	0.496
测量值 2	546	946	1097	0.495
测量值 3	545	947	1100	0.497
测量值 4	545	950	1096	0.498
平均值	546.8	947.8	1097	0.497
误差/%	0.290 9	0.381 8	0.272 7	0.6

3.2 电力监控云平台功能测试

本设计以中国移动物联网交换平台作为数据交互中心，仪表测量的电量参数设置为每隔 30 s 上传至云平台一次。服务器由 API 接口将电量数据推送到 OneNET 云平台，数据在云平台转发和存储，实现了远程监控功能的物联网架构，用户可以在前端网页上进行实时监控，且历史数据不会丢失。此外，在 OneNET 云平台添加报警触发器，当仪表测量并上传至云平台的电量参数高于或低于设定阈值会进行报警。如图 9 所示云平台以表盘的方式实时显示当前时刻的电量，以折线的方式展示实时用电情况。

4 结束语

本文设计的基于窄带物联网技术的电力仪表，具有对

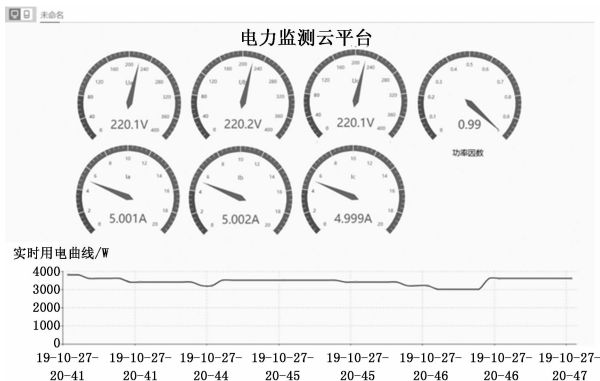


图 9 电力监测云平台

电流、电压、频率、有功功率、功率因数等同时进行测量的功能，根据试验测试结果分析精度达到 0.5 级，在工业计量等领域中应用，可替代多个传统的模拟或数字测量仪表，大大降低系统成本。同时可实现低功耗、远距离的无线传输，避免了现场布线，满足仪表复杂的现场安装环境的要求。采用 NB-IoT 技术可直接接入核心网，无需另外安装网关设备，提高系统安全性。此方案采用模块化设计，便于日后升级改造。在此基础之上搭建智慧监测云平台，能够准确、快速地获知各个用电环节的电量数据，实现数据可视化，有效地进行用电量分析、负荷管理、运行状况监测，在工业物联网迅猛发展的前景下具有较为广泛的应用。

参考文献:

- [1] 余贻鑫. 智能电网实施的紧迫性和长期性 [J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47 (17): 1-5.
- [2] 王兆军, 朱珂, 矫真, 等. 多基准数据生成器的智能电表平台性能分析 [J]. 计算机工程与设计, 2019, 40 (7): 2087-2093.
- [3] 张雯, 王长瑞. 基于总线的多功能电力仪表组网技术研究 [J]. 电测与仪表, 2014, 51 (9): 21-24.
- [4] 冯建勤, 乔智, 陈志武, 等. 一种带电子互感器数字接口的多功能电力仪表 [J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (17): 106-109, 135.
- [5] 胡正, 陈寰丹, 任佳, 等. 基于改进 SPM 的海上 NB-IoT 覆盖研究 [J]. 通信学报, 2019, 40 (4): 21-32.
- [6] 许剑剑. 基于 NB-IoT 的物联网应用研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2017.
- [7] 简鑫, 刘钰琴, 韦一笑, 等. 窄带物联网覆盖类别更新机制性能分析与优化 [J]. 通信学报, 2018, 39 (11): 70-79.
- [8] 谢志远, 张子忠, 黄怡然, 等. 基于 NB-IoT 的分布式光伏电站漏电流监测系统 [J]. 现代电子技术, 2019, 42 (13): 137-141.
- [9] 丁飞, 吴飞, 艾成万, 等. 基于 OneNET 平台的环境监测系统设计与实现 [J]. 南京邮电大学学报 (自然科学版), 2018, 38 (4): 24-29.
- [10] 陈砚圃, 杜佳, 程荣贵. 基于 DDS 技术的精密电力仪表校准源设计与实现 [J]. 电测与仪表, 2007, 42 (2): 33-36.
- [11] Rholam O, et al. Smart device for multi-band industrial IoT communications [J]. Procedia Computer Science, 2019: 155.