

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2314357

基于物联网的电动自行车充电过程监测系统*

吴佳桓¹ 刘晨阳² 陈天淼² 李佳悛² 张仙玲²

(1.华南理工大学电子与信息学院 广州 510641; 2.华南理工大学电力学院 广州 510640)

摘要: 为了进一步加强对高校电动自行车充电过程的监测,方便电动自行车用户和电池研究者获取充电数据,设计了基于物联网的电动自行车充电过程监测系统。系统主要依靠 ZigBee 模块局域网,STM32 通过网络向各 IM1281B 模块下达控制指令,实现对多台电动自行车充电数据的采集与汇总,通过 WiFi 模块将汇总数据上传到云服务器,微信小程序获取云服务器实时信息实现用户交互,数据公开网站存储长期充电数据为电池研究者提供大量数据。实验结果表明:ZigBee 模块组网范围为 150 m,满足高校内电动自行车充电点的组网距离要求,采集到的充电数据通过标准的电工数字钳形表 VC866A 校准,相对误差小于 3%。系统成功实现对多台电动自行车充电数据的采集、传输、存储以及显示。

关键词: 嵌入式设计;STM32;电动自行车;充电过程;数据采集;ZigBee

中图分类号: TP274 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1010

Electric bicycle charging process monitoring system based on IOT

Wu Jiahuan¹ Liu Chenyang² Chen Tianmiao² Li Jiayi² Zhang Xianling²

(1. School of Electronics and Information, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;

2. School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In order to further strengthen the monitoring of university electric bicycle charging process and facilitate electric bicycle users and battery researchers to obtain charging data, an electric bicycle charging process monitoring system based on the IoT was designed. The system mainly relies on Zigbee module for local networking. STM32 issues control commands to each IM1281B module through the network to collect and aggregate charging data of multiple electric bicycles. The summarized data is uploaded to the cloud server through the WiFi module, and the WeChat mini program obtains real-time information of the cloud server to realize user interaction. Open data sites store long-term charging data and provide battery researchers with a wealth of data. The experimental results show that the networking range of ZigBee module is 150 m, which meets the networking distance requirements of electric bicycle charging points in universities. The charging data collected is calibrated by standard electrician digital clamp meter VC866A, and the relative error is less than 3%. The system successfully realizes the collection, transmission, storage and display of charging data of multiple electric bicycles.

Keywords: embedded design; STM32; electric bicycle; charging process; data acquisition; ZigBee

0 引言

大学校园一般占地较广,为了出行方便,电动自行车已成为大学生校内的主要代步工具。但是随着大量电动自行车投入到校园,电动自行车的充电监测问题也显得越来越重要。在针对校园电动自行车管理系统的研究上,张振^[1]等基于通用分组无线服务技术(general packet radio service, GPRS)设计了充电桩与云端系统通信系统,系统

能实时监控电动自行车充电过程,并及时处理异常情况,提高了充电的安全性;陈海云等^[2]基于 Arduino Uno 单片机设计了智能共享充电控制系统,系统对正常终止、异常终止等状态进行识别并反映给用户,降低了充电过程中被拔除盗用的可能性;瞿国庆等^[3]基于 ARM 硬件平台设计了一种智能型电瓶车在线安全充电系统,用户能够对电动自行车进行远程充电、断电控制,提高了充电的便利性和可控性;成都博高公司^[4]采用星纵物联技术(long range wide

收稿日期:2023-08-12

* 基金项目:国家级大学生创新创业训练计划项目(202210561016)、国家自然科学基金面上项目(62271207)资助

area network, LoRaWAN)设计了博高信息智能充电系统,系统可对电动自行车充电进行远程监控,在组网方式上采用 LoRaWAN 降低了系统功耗。文献[5]提出了一种基于云计算的电动汽车监控和服务系统,采集了电动车充电数据并进行电池健康和安全分析^[5]。但是,上述电动自行车充电管理系统都存在用户不能实时监测充电数据,也不能获取长期充电数据的问题。针对以上两个问题,本文设计了一种基于物联网的电动自行车充电过程监测系统。系统结合 ZigBee 技术组网,通过主控芯片 STM32 控制电参数采集模块 IM1281B 实现对多台电动自行车充电过程中电压、电流、功率等充电信息的采集与汇总,并通过 WiFi 模块将汇总数据上传到云服务器,并开发了相应的微信小程序和数据公开网站。微信小程序实现对充电数据的实时显示,使用户也能了解到电动自行车的实时充电信息,同时也能向用户反映电池健康程度,监测充电过程是否存在异常,具有防止锂电池爆炸等安全事故发生和提醒用户更换电池以获得更好的骑行体验的意义。数据公开网站存储了长期充电数据,能为研究电池老化或电池异常问题的研究者提供翔实的实测数据。通过实验很难模拟用户使用锂电池的

真实情况,并且会耗费大量能源和时间,数据公开网站有利于推动、加速相关电池研究者的研究进度,同时也能为充电事故提供后期溯源研究。同时,在电动自行车管理系统数据传输方式的研究上,不同于其他系统采用蓝牙、GPRS、LoRaWAN 等通信技术,本设计采用的是 ZigBee 技术,ZigBee 是基于 IEEE802.15.4 标准的低功耗局域网协议^[6],具有低功耗、网络容量大、通信可靠等显著优势^[7-8],更适合应用在校园电动自行车的充电数据采集。

1 系统总体设计

系统方案图如图 1 所示。系统分为数据采集层、数据传输层和数据应用层。数据采集层包含 ZigBee 模块和电参数采集模块 IM1281B。该层主要负责对多台充电桩充电数据的采集。数据传输层由主控单片机 STM32、ZigBee 模块和 WiFi 模块组成。该层负责将多台充电桩的充电数据汇总并上传给数据应用层,其中 ZigBee 模块负责与数据采集层通信,WiFi 模块上传汇总数据到云服务器。数据应用层由云服务器、微信小程序和数据公开网站构成,负责接收、存储与显示数据。

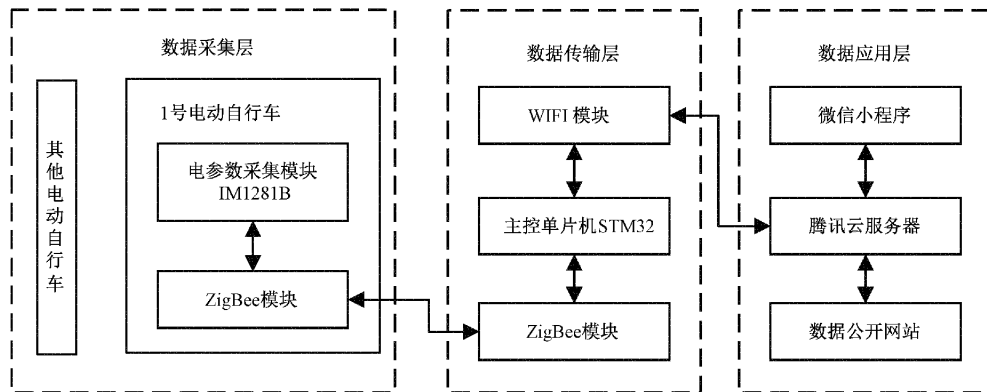


图 1 系统方案图

2 系统各模块设计

2.1 电参数采集模块

为了实现非侵入式、高精度的多电参数实时测量,系统采用一款集成的电量采集模块 IM1281B。该模块采用工业级专用电能计量 SOC 芯片,能够通过互感的方式测量得到电压、电流、功率等多种参数^[9]。其电压量程为 1~380 V,电流量程为 0.05~50 A。电压测量精度达到 0.1 mV,电流测量精度达到毫安级。电动自行车的额定电压 220 V,电源端稳定充电电流约为 1 A,该模块满足测量需求。

该模块的电路连接图如图 2 所示,图中负载为电动自行车。其测量电参数的关键技术如下:将电源充电线的火线穿过传感器的感应环,火线中变化的交流电产生相应的磁场,感应环内的线圈基于互感原理产生对应的感应电流,该电流经过传感器内部的放大、AD 转换后存储

到对应的寄存器当中。IM1281B 上电后实时测量各种电参数,然后将测量值存储于内部寄存器中,IM1281B 内部寄存器如表 1 所示。IM1281B 只有在其 RX 口接收到读取数据的指令时,才会读取寄存器中数据并通过其 TX 口发送。IM1281B 的通信采用串行通信 MODbus 协议,其 MODbus 协议的数据帧结构如表 2 所示,其中设备地址默认为 01H;功能代码有 03H——代表读一个或多个寄存器的值,以及 10H——代表写一个或多个寄存器的值。当需要读取电流值时,可向 IM1281B 的 RX 口发送“01H、03H、0048H、0002H、CRC”,其中,01H 为设备地址,03H 为读寄存器值的功能代码,0048H 为起始地址,即电流寄存器,0002H 为数据长度。发送完接口从 IM1281B 的 TX 接收到“01H、03H、08H、XXXXH、XXXXH、CRC”的回传报文,报文解析格式如下:01H 为回应设备地址,03H 为功能地址,08H 为返回字节数,XXXXH 为寄存器数据。

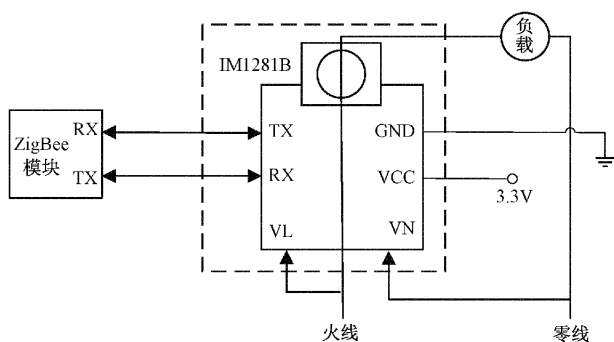


图2 IM1281B模块电路连接图

表1 IM1281B内部电参数寄存器表

序号	名称	地址	读/写属性
1	电压	0048H	读
2	电流	0049H	读
3	有功功率	004AH	读
4	有功总电量	004BH	读/写 0
5	功率因素	004CH	读
6	频率	004FH	读

表2 MODbus协议数据帧格式

设备地址	功能代码	数据段	CRC16 校验码
1个 byte	1个 byte	N个 byte	2个 byte

IM1281B实现了非侵入式的多电参数实时测量,不需要对已有电路或系统进行额外的改动,只需将电路所需测量部分的导向穿过传感器的感应环即可实现电参数的测量。

2.2 ZigBee 模块

ZigBee技术是基于IEEE802.15.4协议发展起来的无线通信技术,具有传输距离近、传输速度低、功耗低、成本低的特点。在低功耗待机模式下,2节5号干电池可支持1个ZigBee节点工作6~24个月,而WiFi只能工作数小时。ZigBee的传输速率为250 kbps,主要应用物联网领域传感器采集到的数据的传输。

校园内电动自行车充电数据测量的一个难点在于数据传输方式的选取。校园内电动车充电点一般允许10~15台电动自行车同时充电,假如系统不选择组网,各电动自行车的充电数据独立采用WiFi模块上传到云服务器,将会导致数据传输干扰与较大的系统功耗,不符合嵌入式系统低功耗的设计要求^[10]。本系统设计了一个“ZigBee星型组网依次采集数据+一个WiFi模块统一上传”模式,即先采集第一台电动自行车的电参数并进行存储后,再采集下一台电动自行车的电参数,从而解决了多WiFi模块数据传输干扰的问题,同时由于ZigBee技术低功耗的特点,也避免了系统功耗过高的问题。经过测试得不组网和组网的方案功耗对比结果如表3所示。可以看到,组网方案

的功耗一直优于不组网的方案,当充电桩台数增加时,优势更加明显,当充电桩数量达到8台时,可以节约一半的功耗。

表3 不组网和组网方案的功耗对比结果

充电桩数目	不组网电流	组网电流	I_2/I_1
N	I_1/mA	I_2/mA	
2	160	140	0.875
3	240	170	0.708
4	320	200	0.625
5	400	230	0.575
⋮	⋮	⋮	⋮
8	640	320	0.5
9	720	350	0.486

本设计采用了符合ZigBee协议标准的CC2530无线射频收发片上系统^[11-12],其硬件结构图如图3所示,其中串口RX、TX可以用于与外部串口通信电路进行串口通信,32 MHz时钟信号为系统整体同步时钟,滤波电路用于减小外部噪声造成的干扰,巴伦电路用于无线射频信号的收发^[7]。

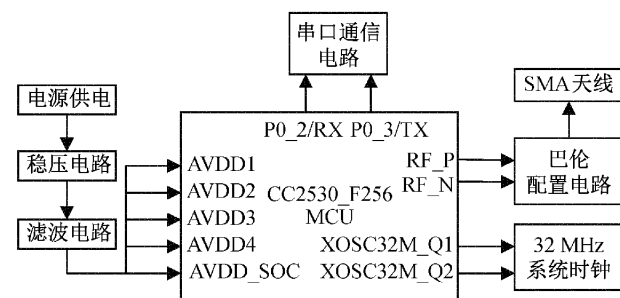


图3 ZigBee系统硬件结构图

2.3 主控单片机

相比于51单片机、PIC单片机或者是AVR单片机^[13],STM32单片机具有性能高、功耗低的优势^[14]。系统采用STM32F103型号^[15],其拥有强大的硬件资源:64 K×8 bit的Flash,20 K×8 bit的SRAM,37个GPIO口,4个定时器,2个ADC^[16]。

主控单片机STM32和外围电路连接图如图4所示。其串口1(TX1、RX1)与ZigBee模块的串口相连,将ZigBee模块通过与其他ZigBee模块无线通信接收到的各台充电桩的电参数存储在STM32的SRAM中,STM32的串口2(TX2、RX2)与WiFi模块的串口相连,实现将SRAM中汇总的各台充电桩的电参数一并通过WiFi模块上传到云服务器。

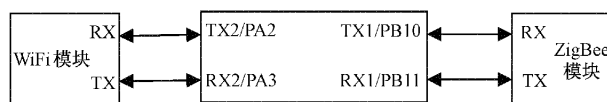


图4 主控单片机STM32和外围电路连接图

2.4 WiFi 模块

主控芯片与云服务器的无线通信可通过 WiFi 模块 ESP8266 来实现。ESP8266 模块支持标准的 IEEE802.11 b/g/n 协议和完整的 TCP/IP 协议栈^[17-18], 是一个完整的 WiFi 网络解决方案, 内置了包括天线开关和电源管理平衡转换器的设备, 外围电路很少^[19]。主控芯片与 ESP8266 通过串口有线连接, 其与外围硬件连接图如图 5 所示。数据传输具体操作过程为: 单片机通过 AT 指令将 WiFi 模块设置为客户端, 通过不透明传输连接到对应名称和密码的校园 WiFi, 接入互联网。然后, 利用 MQTT 协议与云服务器进行双向数据传输。MQTT 协议是一种基于代理的轻量级发布/订阅消息传输协议, 只需占用很小的带宽即可完成消息的双向传输。MQTT 协议包括代理服务器和客户端两部分, 客户端由发布者和订阅者组成。发布者和订阅者皆连接到代理服务器, 由代理服务器实现消息的传输。

3 系统软件设计

主控单片机程序流程如图 6 所示。开机后初始化

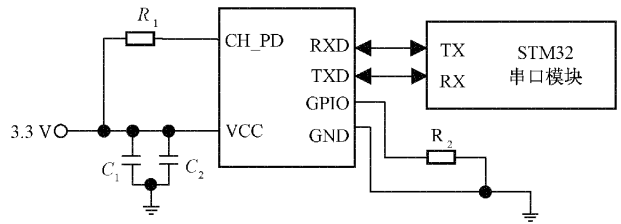


图 5 ESP8266 与其外围电路连接图

WiFi 模块和 ZigBee 模块, 完成后等待数据采集层的其他 ZigBee 模块接入。当所有 ZigBee 模块都接入后, 执行如下循环: 主控单片机通过 ZigBee 网络让数据采集层第一台电动自行车上的电参数采集模块 IM1281B 采集充电信息, 然后通过 ZigBee 网络回传给主控单片机, 若主控单片机接收到充电信息, 则采集下一台电动自行车的充电信息, 若主控单片机在规定时间内没收到某一台电动自行车的充电信息, 则重新采集该台电动自行车的充电信息。当采集完所有电动自行车的充电信息后, 主控单片机将汇总充电信息通过 ESP8266 上传到服务器。上传成功后重新执行循环。

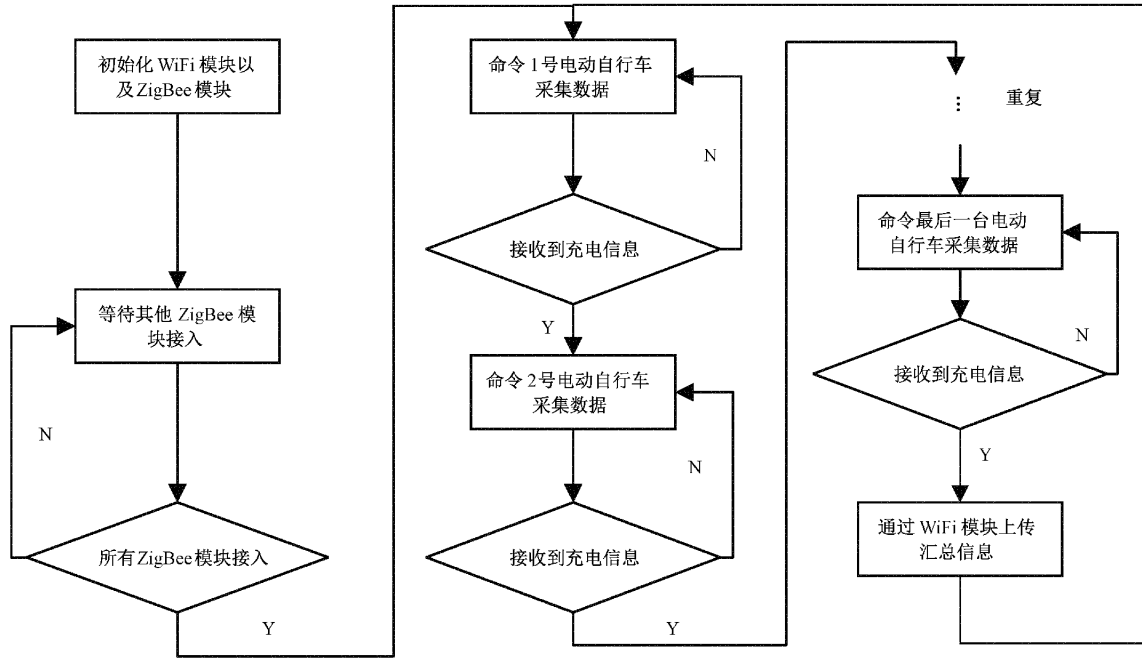


图 6 主控单片机程序流程

4 实验测试

4.1 数据采集准确率校准

为验证系统所测电参数的准确性, 在测量单台电动自行车充电数据时采用标准的电工数字钳形表 VC866A 对其进行校准, 得到的部分数据如表 4 所示。本设计采用 IM1281B 测量得的电流精度达到 0.001 A, 具有较高的精

确性, 适合于电池研究者采纳使用。另一方面, 本设计采用了 VC866A 进行对比研究, 增加了测量数据的可靠性, 同时经过分析发现两者之间的相对误差小于 2.60%, 证明了数据的准确性。部分误差可能是由于 IM1281B 是基于互感原理进行的电参数测量, 而由于实验环境原因, 可能存在一定的电磁干扰导致部分误差的产生, 未来可对减小电磁干扰, 提升系统可靠性, 稳定性, 进一步降低测量误差

开展研究。

表4 数据采集校准数据表

VC866A 数据/A	IM1281B 数据/A	相对误差/%
0.928	0.904	2.58
0.929	0.905	2.58
0.933	0.914	2.03
0.997	1.012	1.50
0.998	1.015	1.70
1.001	1.016	1.49

4.2 ZigBee 通信测试

理论上 ZigBee 模块点对点通信距离为 250 m,对系统实际 ZigBee 通信距离进行测试,得到结果如表 5 所示。可以看出,ZigBee 模块通信距离可以达到 150 m,张晨等^[20]进行的无线传输模式技术研究实验得到的 ZigBee 通信距离为 134 m,与本设计得到的结果较为一致。高校内电动自行车充电点一般可实现 10~15 台电动自行车同时充电,电动自行车间距一般为 2~3 m,因此本设计在高校内电动自行车充电点采用 ZigBee 组网的方式在满足距离要求的基础上,由于 ZigBee 相比其他通信方式的优势,相比现有其他系统具有低能耗,安全性高的先进性。

表5 ZigBee 点对点通信测量结果

通信距离/m	丢包率/%
30	0
60	0
90	0
120	0
150	0
180	100

4.3 微信小程序

微信小程序采用微信官方提供的开发软件微信开发者工具进行开发。开发的微信小程序界面如图 7 所示。相比于目前其他电动自行车充电管理系统,该页面增加了对于电流、电压、功率因素、频率等实时充电数据的显示,用户能获取实时的充电数据对充电情况进行监测。该界面显示了单台电动自行车即将充满电时的实时充电数据。数据采集层采用 OLED 显示屏显示充电数据,微信小程序界面的数据和数据采集层的数据相同,证明了数据传输成功。

4.4 数据公开网站

从开发的数据公开网站上得到单台电动自行车的充电电流和频率等数据,由于单台电动自行车完整充电时间大约为 5 h,数据量较大,且前 4 h 充电电流波动情况大致相同,因而选取后 1.5 h 的充电电流及频率绘制成曲线后



图7 微信小程序测试结果

得到图 8、9。本实验电动自行车电池为铅蓄电池,陆灿楠等^[21]的校园电动自行车充电管理系统的设计一文中提及,铅蓄电池主要有两种充电模式:恒压式充电和三段式充电。恒压式充电的充电速度快,但会对电池寿命产生较大影响,因此市面上大多数电动自行车充电模块多采用三段式充电,本实验电池的充电模式也是三段式充电。三段式充电包括恒流、恒压、降压浮动充电 3 个阶段。在恒流阶段,电流大小基本保持稳定;在恒压阶段电流大小呈现出缓慢下降;在降压浮充阶段,电流以极小值缓慢下降。在图 8 中,前 30 min 电流大小稳定保持在 0.91 A 附近,符合恒压阶段的电流变化趋势,30~85 min,电流呈现出缓慢下降趋势,符合恒压阶段的电流变化趋势,85 min 后,电流保持在极小值缓慢减小,符合降压浮充阶段的电流变化趋势。图 8 的整体电路变化趋势与陆灿楠等^[21]的《校园电动自行车充电管理系统的设计》一文中的三段式充电电流曲线大致相同,符合电动自行车铅蓄电池三段式充电的实际情况,证明了此实验数据的准确性,因此本设计能为电池研究者提供大量真实可靠的电动自行车充电数据,加速研究者的科研进程。同时,本设计的充电数据采样频率为 100 Hz,每次采样会得到电流、电压、频率、功率因素、电能

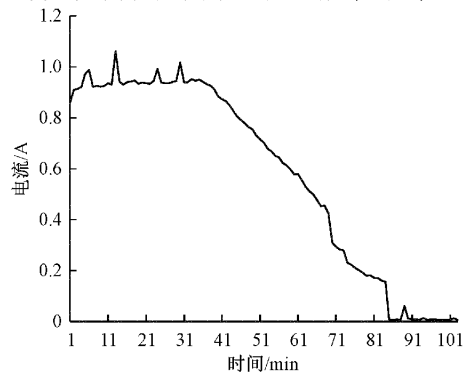


图8 电流曲线

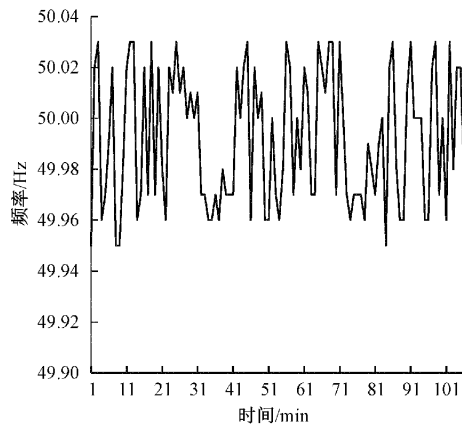


图 9 频率曲线

五个参数,每个参数为 24 bit,假如某一充电站点由 15 台充电桩,每台充电桩每天的时间利用率为 50%,一天将产生约 0.972 GB 的存储量,因此还需对数据的存储以及数据的压缩进行进一步的研究。由实验中的电动自行车采用的是 50 Hz 的交变市电,因此图 9 测量得到的频率数据存在较快的波动,频率以 $-0.05 \sim 0.03$ 的变化范围在 50 Hz 附近波动,符合真实情况。

5 结 论

设计的基于物联网的电动自行车充电过程监测系统成功实现了电动自行车充电数据的采集、传输、存储与显示。相比于现有的其他系统,该系统有用户能够实时监测充电数据,研究者能够访问数据公开网站以获取长期监测数据的优势。系统有助于进一步加强对高校电动自行车充电过程的监测,方便电动自行车用户和电池研究者获取充电数据。系统存储的大量用户充电数据能在电池故障预警,电池寿命估计,电池事故分析等研究领域发挥作用,有助于推动国内电动自行车电池研究的进一步发展。

参考文献

- [1] 张振,李强.基于充电安全的电瓶车充电桩云平台设计[J].智能建筑电气技术,2022,16(3):145-149.
- [2] 陈海云,潘凯,黄秋萍.智能共享充电控制系统的设计与实现[J].浙江师范大学学报(自然科学版),2022,45(1):11-14.
- [3] 瞿国庆,张晓冬,袁异贵等.基于 ARM 的电瓶车安全在线充电系统[J].信息通信,2015(10):56-57.
- [4] 基于 LoRa 的智能充电设备实现安全、便捷的电瓶车充电方案[J].世界电子元器件,2020(6):13-14,20.
- [5] LI G, LIU P, WANG ZH, et al. An overview of cloud-based electric vehicle safety service platform functions

and A case study[C]. The 6th ICTIS, 2021:1476-1481, DOI:10.1109/ICTIS54573.2021.9798584.

- [6] 曹现刚,张富强,史可欣.基于 ZigBee 协议的矿用设备数据采集分站设计[J].仪表技术与传感器,2023(3):6.
- [7] 汪凤珠,赵博,王辉,等.基于 ZigBee 和 TCP/IP 的盐碱地田间监控系统研究[J].农业机械学报,2019,50(S1):207-213.
- [8] 史兵丽,王刚,张会新,等.基于 ZigBee 无线网络的应变数据采集系统[J].仪表技术与传感器,2020(1):79-82.
- [9] 陈锐彬,叶成彬,李安娜,等.一种物联网型的电能监控排插[J].单片机与嵌入式系统应用,2022(2):22-25.
- [10] 王颖.嵌入式系统必须满足高性能和低功耗的要求[J].中国电子商情,2019(12):44-45.
- [11] 吕顺远,张国平,胡江为,等.基于 ZigBee 的实时水虻养殖环境监测器的设计[J].电子测量技术,2020,43(15):100-104.
- [12] 贾登,骆学理,刘成,等.基于 ZigBee 的无线压力采集系统设计[J].电子测量技术,2022,45(11):114-119.
- [13] 陈又军.基于 AVR 单片机的航空仪表仿真系统设计[J].电子测量技术,2019,42(7):83-88.
- [14] 金余义,张庆,祝根.基于 STM32 的校园照明智能控制系统[J].电子设计工程,2013(24):163-165.
- [15] 梁建豪,穆平安.基于 STM32 的直流电子负载设计[J].电子测量技术,2018,41(22):116-120.
- [16] 刘勇,王玉晶,曲斌,等.一种嵌入式 PC 非标准键盘的设计[J].微计算机信息,2007(2):87-88.
- [17] 毛文琪,瞿少成,赵亮,等.基于物联网的教室模糊 AQI 监测管理系统[J].电子测量技术,2021,44(3):160-164.
- [18] 齐宣,李一民,龙华,等.基于 TCP/IP 协议栈的串口-网口通信方案设计[J].电子测量技术,2018,41(8):123-127.
- [19] 罗俊,孙国耀.基于 WiFi 无线传感器网络的工业环境监测平台系统设计[J].仪表技术与传感器,2018(8):69-72.
- [20] 张晨,陈咏梅.无线传输模式技术研究[C].中国航空工业技术装备工程协会,2022 年中国航空工业技术装备工程协会年会论文集,2022:342-345.
- [21] 陆灿楠,叶桦,仰燕兰,等.校园电动自行车充电管理系统的设计[J].信息技术与信息化,2016(11):48-51.

作者简介

张仙玲(通信作者),博士,讲师,主要研究方向为光电检测、模式识别、电工学与电路的教学工作。