

# 一种电动自行车自动充电控制系统的设计

范虹兴,蔡 超,张震宇

(浙江科技学院 自动化与电气工程学院,杭州 310023)

**摘 要:** 针对电动自行车充电不够便捷这一现状,设计了一种自动充电控制系统,适用于城市居民小区。该系统由一个中心控制器和若干个智能型充电座构成,中心控制器和充电座之间采用 ISM 无线射频方式进行通信,进而实现了一整套自动充电控制系统。介绍该系统的基本工作原理,描述其整体硬件构成并给出其关键的电路图,还分析了它的软件设计的要点,归纳了该系统的特点。我们设计的这一控制系统,提高了电动自行车充电的便捷性,其所涉及的核心技术可做相关推广应用。

**关键词:** 电动自行车;充电控制系统;单片机;IC 卡;无线通信

**中图分类号:** TP273.5;TN919.72

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-8798(2016)01-0036-07

## Design of automatic charging control system for electric bicycles

FAN Hongxing, CAI Chao, ZHANG Zhenyu

(School of Automation and Electrical Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** Currently, most of the charging systems for the electric bicycles are not very convenient for the users, in view of this situation, an automatic charging control system is designed, which is suitable for the urban residential district. The system is composed of a central controller and several intelligent chargers, and wireless communication in ISM frequency is adopted between the central controller and the chargers, hence an automatic charging control system is realized. Firstly, the basic working principle of the system is introduced, and the overall hardware structure is described. Secondly, the key circuit diagrams are given, and the modular software design elements are analyzed. Finally, the characteristics of the system are summarized. Therefore, the convenience of charging for the electric bicycles can be improved through this system, and the involved technology can be applied to the related fields.

**Keywords:** electric bicycle; charging control system; MCU; IC card; wireless communication

---

**收稿日期:** 2015-08-02

**基金项目:** 浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)(2014R415006)

**作者简介:** 范虹兴(1995—),男,浙江省金华人,2013 级电气工程及其自动化专业本科生。

**通信作者:** 张震宇,副教授,硕士,主要从事信号处理、无线通信技术、系统集成等方面的研究和应用工作。

电动自行车是一种绿色交通工具,具有无污染、低价、安全等优点,深受国内城市居民的青睐<sup>[1]</sup>。电动自行车一般采用充电式电池作为动力源,其充电是否便捷是一个值得关注的问题。当前,在国内一些较老的城市小区,电动自行车充电相关的公共配套设施相对欠缺。比如,有的公寓楼没有电梯,而有些居民所住楼层较高,要为电动自行车充电,目前采用的方法主要有以下几种<sup>[2]</sup>:一是取出电池搬回家充电。由于有些电池较重,用户搬动较为费力。虽然近年来出现了一些相对轻便的锂电池电动自行车,但因其价格较为昂贵,还未大范围普及。二是从家中接线到一楼充电。用户不必从电动自行车内取出电池,而是直接在一楼单元门处充电。充电完毕后,用户收回接线板,这种充电方式不仅麻烦,且充电地点无人监管,易发生被盗情况。三是在路边的投币式快速充电站充电。因充电站采用大电流充电,所以能达到快速充满的效果,但这种充电方式显然对电池的性能有一定的损害,仅适用于用户在行驶途中没电时急用。四是在小区内指定的设备上付费充电。近年来有些小区安装了电动自行车专用充电设备,以方便用户充电,目前一般是用户现场付费充电,设备安排有专人负责管理。这种方法虽然方便,但增加了人力支出,不值得推广。

在对上述几种典型的充电方法进行分析后可知,目前的电动自行车充电方式在安全性、便捷性、高效性等方面存在一定的不足。为解决此问题,笔者应用电子电路、单片机、IC卡、无线通信等技术,设计了一种电动自行车充电自动控制系统(以下简称充电自控系统),克服了现有充电方式的缺陷,适合在城市小区推广使用。

## 1 基本工作原理及硬件构成

充电自控系统由一个中心控制器和若干个智能型充电座构成,其整体硬件构成如图1所示。中心控制器安装于小区物业管理处,交由物业管理人员管理,在每幢居民楼的各单元门处分别安装一个智能型充电座,其配置的数量可根据实际情况而定,用户购买IC卡并充值。当电动自行车需要充电时,将其充电器插头插入智能型充电座的插座,然后刷卡,根据显示屏的提示选择充电时长,充电座即开始为其充电,用户选择的时长达到后,充电座会自动断开充电电路,并发送充电完毕的短信至用户手机。如此,极大地提高了充电的便捷性和效率。中心控制器和智能型充电座具有RF无线通信功能,由此组成了一个无线通信网络,根据设定的通信协议,各充电座的相关工作数据能无线发送至中心控制器。

### 1.1 智能型充电座

智能型充电座在硬件上由电源电路、单片机、IC卡读写电路、充电接口电路、用电量计量电路、人机对话电路、GSM短信发送电路、EEPROM电路及无线通信电路构成,其硬件构成如图2所示。

充电座以单片机为控制和信息处理核心,统筹各外围电路协调工作。单片机型号选用了STM32F107,该芯片具有丰富的功能模块和接口<sup>[3]</sup>。电源电路采用ASM1117-5.0和ASM1117-3.3芯片,将9V电源适配器的电压降至5V和3.3V稳定直流电压,供给单片机及上述外围电路模块。用户刷卡时,单片机首先令IC卡读写电路读取用户IC卡的身份、密码、金额等数

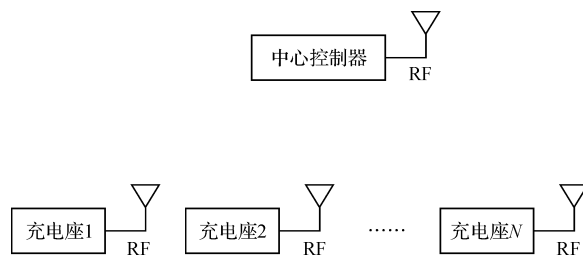


图1 系统整体硬件构成示意

Fig. 1 Diagram of overall hardware composition for system

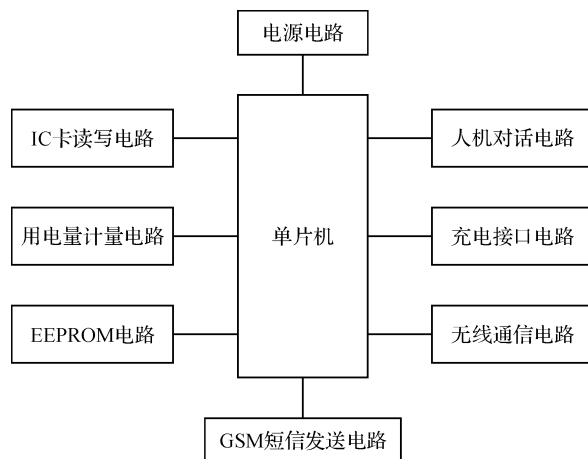


图2 充电座硬件构成示意

Fig. 2 Diagram of hardware composition for charger

据,经判断后若符合设定的条件,又令 LCD 显示屏给出选择充电时长的提示信息,然后等待用户按键操作。用户根据提示进行按键操作后,单片机令 IC 卡读写电路根据应扣除的金额重写 IC 卡的对应扇区,实现费用扣除。单片机令充电接口电路接通电动自行车的充电器,于是开始充电;同时,单片机内置的定时器开始计时。当达到用户所选的时长后,充电接口电路断开,LCD 显示屏给出充电已完毕的提示信息,同时发送提示短信到用户预留的手机号码。在充电过程中,用电量计量电路能根据测得的电压、电流等电参数,计算出充电座消耗的有功功率并作记录。这样,一方面可根据用电量情况推断出各充电座的使用量,另一方面可根据用电量数据定期与供电部门结算。在每月设定的日期(比如设定为每月1日的12:00AM)发送充电座的用电量给中心控制器,中心控制器记录各充电座的用电量数据。EEPROM 电路采用 24C256 芯片,用于保存充电过程中的相关数据,掉电不丢失。GSM 短信发送电路选用了 SIM300 模块,和单片机之间以串口连接,应用 AT 指令进行通信。无线通信电路选用了 Si4432 芯片,用于和中心控制器实现双向无线通信。

### 1.1.1 IC 卡读写电路

充电自系统采用的 IC 卡为 Mifare One S50 卡,其工作频率为 13.56 MHz。IC 卡读写芯片选用了飞利浦 NXP 公司的 MFRC522,并采用相应的电阻、电容等分立器件构成了 IC 卡读写电路,天线设计为板载式 PCB 多环状天线<sup>[4]</sup>,IC 卡的读写距离可达到 5 cm 左右,其电路原理如图 3 所示。MFRC522 芯片作为从器件,以 SPI 接口和单片机实现连接,接收其内部工作寄存器设置等命令,以及发送和接收 IC 卡通信时的相关数据。

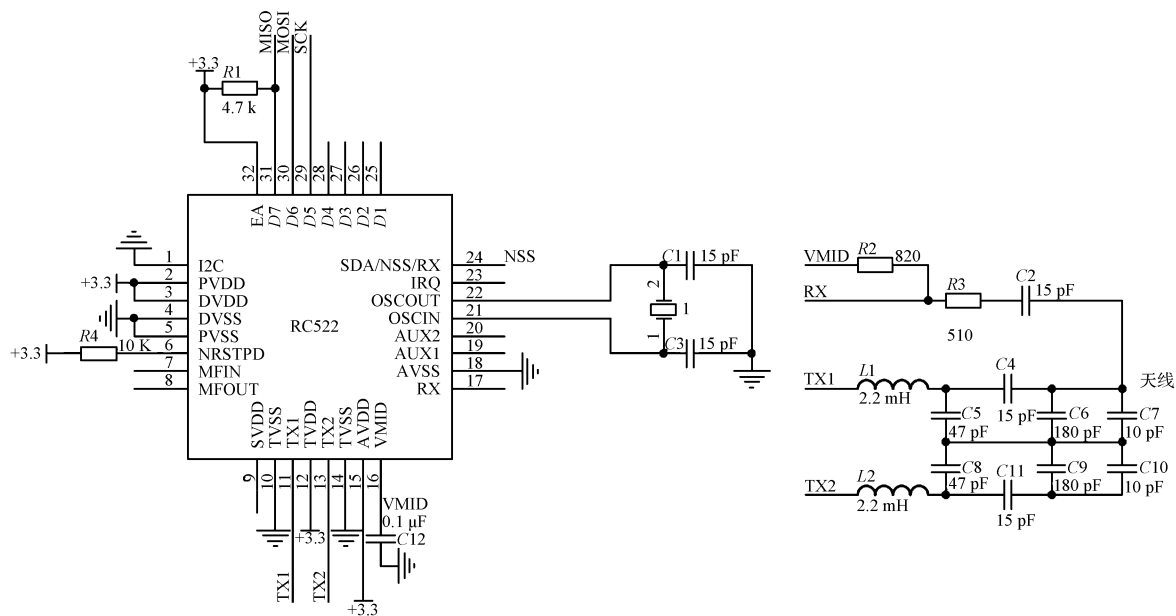


图 3 IC 卡读写电路

Fig. 3 Schematic circuit of reading and writing for IC card

### 1.1.2 充电接口电路

通过充电接口电路,单片机能实现对 220 V 市电火线、零线接通与断开的控制,充电接口电路如图 4 所示。当读到的 IC 卡符合条件时,单片机令引脚 CON1=1。分析电路可知,此时三极管 Q1、Q2 导通,于是继电器 Relay1、Relay2 的常开触点均接通,插座上便输出 220 V 市电,电动自行车的充电器即开始为蓄电池充电;当读到的 IC 卡不符合条件或符合条件的 IC 卡用户所选的时长达达到后,单片机令引脚 CON1=0,分析后可知插座无电,无法为蓄电池充电。这种将火线、零线都纳入控制的做法,确保了用电时的安全性。

### 1.1.3 用电量计量电路

充电自控系统选用 CSE7759 作为用电量计量芯片,这是一种单相多功能计量芯片<sup>[5]</sup>,计量精度可达

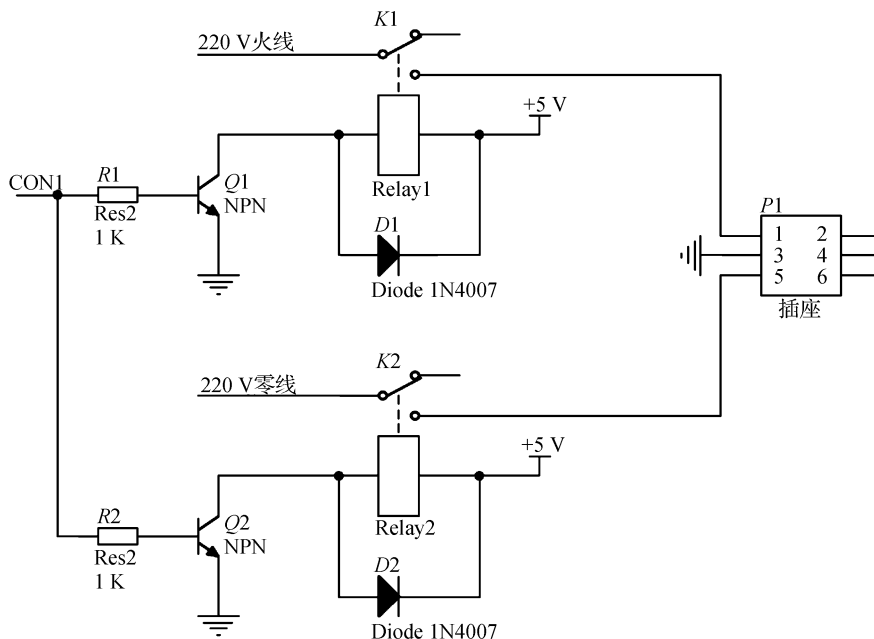


图 4 充电接口电路

Fig. 4 Schematic circuit of charging interface

0.2%，计量电路如图 5 所示。将火线上的电流信号通过  $1\text{ m}\Omega$  的锰铜电阻采样后，转换为电压信号差分输入至 CSE7759 的 V1P、V1N 引脚，零线上的电压信号则通过  $R_3$ 、 $R_4$  电阻分压后，输入至 CSE7759 的 V2P 引脚。该芯片的 CF 输出指示负载上有功率的频率信号，CF1 则输出指示负载上电压有效值（SEL 被设置为 1 时）或电流有效值（SEL 被设置为 0 时）的频率信号。单片机通过测量出 CF、CF1 输出的频率信号的周期，可计算出负载上的有功功率、有效电压、有效电流，结合充电座每次的工作时长，即可得出每次工作的用电量数值。

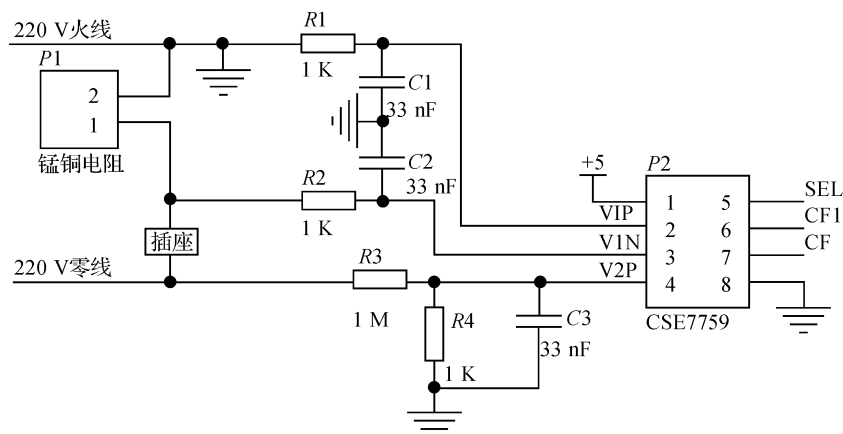


图 5 用电量计量电路

Fig. 5 Schematic circuit of power consumption measurement

#### 1.1.4 无线通信电路

充电自控系统采用的无线通信芯片为 Si4432，这是一个 CMOS 射频集成电路<sup>[6]</sup>，包含了所有 ISM 频段应用所需的发射和接收功能，可工作在 315、433、868、915 MHz 频段，工作电压为 3.3 V。无线通信电路如图 6 所示，Si4432 与单片机采用 SPI 接口连接，其中射频前端采用了分集式开关电路 SKY13267，以实现无线发送和接收的自动切换。

#### 1.2 中心控制器

中心控制器设计为一个手持机，硬件上主要由锂电池、电源电路、单片机、IC 读卡器、万年历电路、无

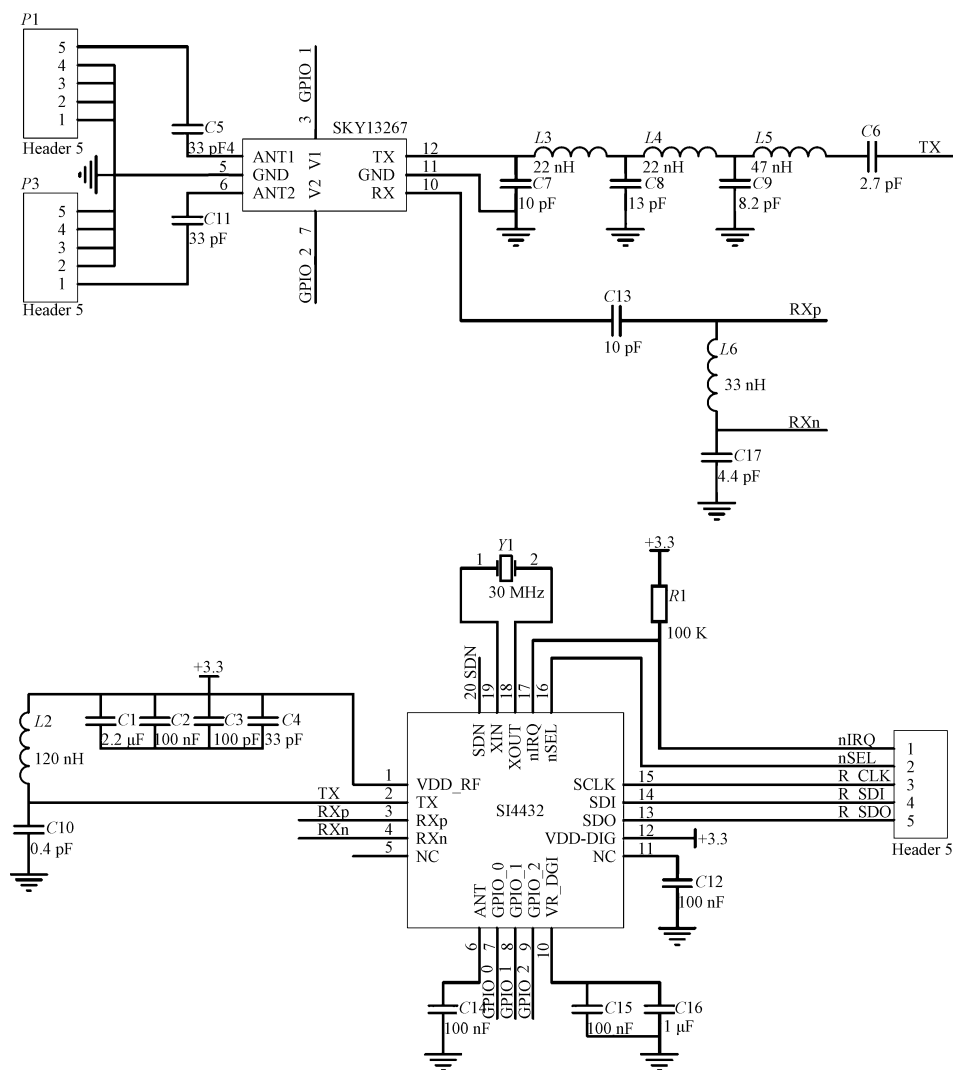


图 6 无线通信电路

Fig. 6 Schematic circuit of wireless communication

线通信电路、存储电路及触摸屏等构成,其硬件构成如图 7 所示。其中,单片机型号为 STM32F107,无线通信电路采用 Si4432,存储电路采用 24C512,IC 读卡器与单片机之间为 USB 接口连接。万年历电路采用 DS1302 芯片,和单片机之间采用 I<sup>2</sup>C 方式连接,作用是计日期及时间(比如判断当前时间是否已到每月 1 日的 12:00AM)。管理员通过该手持机,可实现用户 IC 卡的开卡、加密、充值、挂失等操作。当用户充值时,单片机令 USB 读卡器将充值金额写入用户的 IC 卡,同时将金额数据写入存储电路作保存。

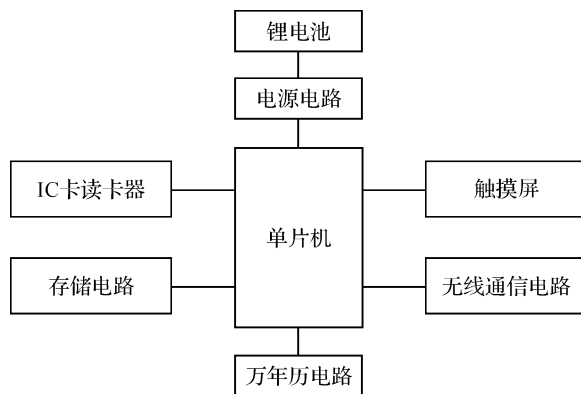


图 7 中心控制器硬件构成示意

Fig. 7 Diagram of hardware composition for central controller

## 2 软件设计

充电自控系统的软件设计,涉及智能型充电座的控制和中心控制器的管理及两者之间的无线通信,为便于后期维护和功能升级,软件设计均采用 C 语言编写,并按照功能模块进行功能函数的设计。

### 2.1 智能型充电座软件设计

智能型充电座的整体软件设计流程如图 8 所示,限于篇幅,智能型充电座的软件设计主要介绍 IC 卡

读写操作和用电量计量两部分。

### 2.1.1 IC卡读写操作

充电自控系统采用 Micfare One S50 卡,这种 IC 卡共有 16 个扇区(扇区 0~15),每个扇区有 4 个块(块 0~3),每个块为 16 Byte,除了第 0 扇区的块 0 因已经固化了 4 Byte 序列号(物理卡号)及卡商相关代码等数据不可写外,剩余扇区的块 0~2 都可以在对应的块 3 的匹配下进行读写操作<sup>[7]</sup>。系统选择扇区 1 的块 0 用于数据读写存储,其数据格式定义为 null 3 Byte,卡身份号(发卡卡号)2 Byte,密码 4 Byte,手机号 5 Byte,金额 2 Byte,合计 16 Byte。本设计中,扇区 1 的块 3 的存取控制码设置为“08 77 8F 69”,块数据读写操作认证方式为 KEYB。

要进行 IC 卡的读写控制,首先应初始化 MFRC522 的相关工作寄存器,然后由单片机控制 MFRC522 进行寻卡,以判断信号范围内是否有卡进入,接着进行防冲撞处理,达到当有多张射频卡同时进入读写电路天线的有效工作范围内时能避免多卡之间的冲撞,然后选定某张卡,进行 KEYB、发卡卡号及密码的认证,若认证通过,则可执行读块或写块等操作,否则提示无效卡,程序结束。整个过程的流程如图 9 所示。

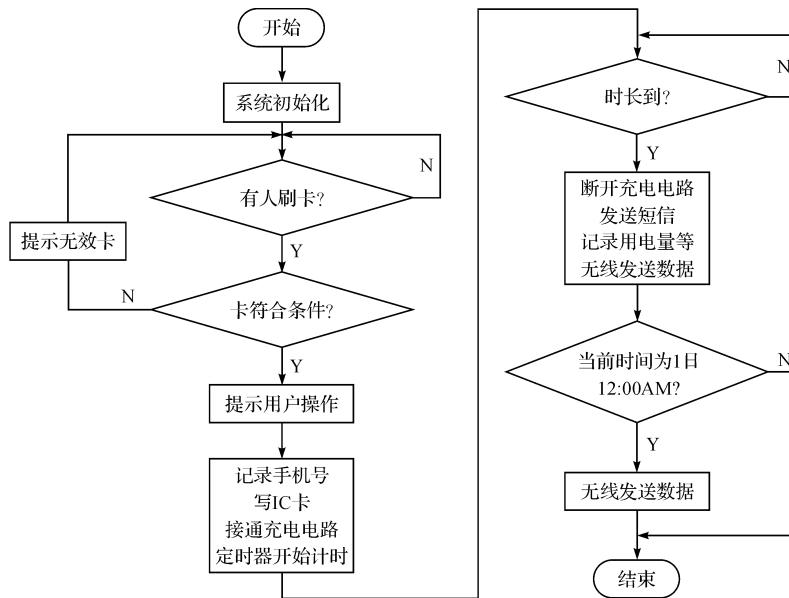


图 8 充电座工作流程

Fig. 8 Work flowchart of charger

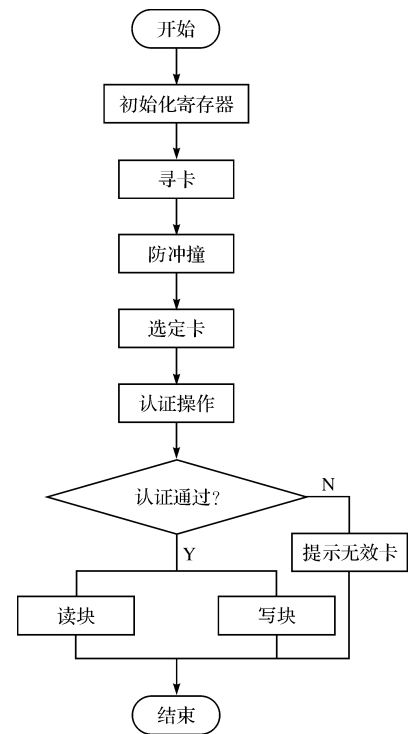


图 9 IC卡读写工作流程

Fig. 9 Work flowchart of reading and writing for IC card

### 2.1.2 用电量计量

CSE7759 的 CF 引脚输出被充电负载的有功功率的频率信号,其计算式为

$$F_{CF} = \frac{V_1 \times V_2 \times 48}{V_{REF}^2} \times \frac{f_{osc}}{128} \quad (1)$$

式(1)中: $V_1$  为电流通道引脚上的转换得到的电压值; $V_2$  为电压通道引脚上的电压值; $f_{osc}$  为 CSE7759 芯片的内置晶振,其频率为 3.579 MHz; $V_{REF}$  为 CSE7759 芯片内置基准源,其电压值为 2.43 V。

单片机通过内部定时器和计数器,可测出 CF 的频率,求出有功功率,然后根据时长,即可计算得出用电量数值。

CSE7759 在实际使用中必须进行功率校准<sup>[8]</sup>,充电自控系统中采用的方法是:加载标准负载(假设功率值已知为  $P_0$ ),测量出此时 CF 引脚输出频率的周期  $T_0$ 。由于 CF 引脚在没有负载加载时输出频率的周期为 0,且由于功率值是线性的,于是有功率校准系数

$$K_P = \frac{T_0 - 0}{P_0 - 0} \quad (2)$$

当加载一个未知的负载时,通过单片机测量出其频率信号的周期  $T_1$ ,则有

$$P_1 = \frac{T_1}{K_p} \quad (3)$$

在计算实际功率时,单片机程序只需按式(3)进行校准即可。

## 2.2 无线通信机制

中心控制器和多个充电座之间采用 ISM 频段的射频无线通信方式, Si4432 电路的工作频率设置为 433 MHz, 数据传输波特率设置为 1.2 kb/s。在两者的无线通信过程中,具体遵循如下通信机制:

1) 每个充电座检测到充电完毕后,自动发送数据包至中心控制器,每个数据包包含 8 Byte。具体的数据格式定义为,充电座地址 2 Byte,卡身份号 2 Byte,金额 2 Byte,数据包校验码 2 Byte。

2) 中心控制器检测到设定的每月 1 日 12:00AM 到时,自动发送查询指令至各充电座,要求返回用电量数据。充电座返回的数据包含 8 个字节,其中空白的 2 个字节 null 写入 0xFFFF。具体的数据格式定义为,null 2 Byte,充电座地址 2 Byte,用电量 2 Byte,数据包校验码 2 Byte。

数据包的校验码含 2 Byte。若中心控制器空闲,在收到数据包后,解析后可根据校验码判断出数据是否正确;若发现所收数据包有误,则中心控制器根据充电座地址,回发此数据错误的提示给充电座,充电座重发数据包,直至正确为止。

## 3 结 语

笔者对电动自行车自动充电控制系统进行了全面的测试,整体上达到了预期的性能:各电路功能模块均能稳定地可靠地工作,其中无线通信的可靠距离可达 1 km 以上,一次通信成功率达到 98% 以上,较好地实现了系统要求。该系统能提高电动自行车充电的便捷性,提升管理的效率,具有一定的实用价值,所涉及的 IC 卡读写、无线通信等核心技术可推广应用到相关行业,为技术方案设计提供一定的参考。

### 参考文献:

- [1] 石臣鹏. 电动自行车交通现状及对策分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2008, 27(5): 772.
- [2] 杨俊. 电动自行车充电装置的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011: 2.
- [3] ST Microelectronics. STM32F107VC datasheet[EB/OL]. (2014-03-01)[2015-07-29]. <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00220364.pdf>.
- [4] NXP Semiconductors. MFRC522 datasheet[EB/OL]. (2015-04-30)[2015-07-29]. [http://www.cn.nxp.com/documents/data\\_sheet/MFRC522.pdf](http://www.cn.nxp.com/documents/data_sheet/MFRC522.pdf).
- [5] CHIPSEA Technology. CSE7759 datasheet[EB/OL]. (2013-09-13)[2015-07-29]. <http://www.chipsea.com/UploadFiles/2013/09/130914344363DA6A.pdf>.
- [6] Silicon Labs Inc. Si4432 datasheet[EB/OL]. (2009-02-20)[2015-07-29]. <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/Si4430-31-32.pdf>.
- [7] NXP Semiconductors. MF1 IC S50 Functional Specification[EB/OL]. (2008-01-29)[2015-07-29]. [http://www.cn.nxp.com/documents/data\\_sheet/M001053\\_MF1ICS50\\_rev5\\_3.pdf](http://www.cn.nxp.com/documents/data_sheet/M001053_MF1ICS50_rev5_3.pdf).
- [8] 谢品芳. 电能计量中电参量测量误差研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010: 12.