

MFRC523 的射频 CPU 卡费控系统^①

陈烁辉, 毛建旭, 肖 迁

(湖南大学 电气与信息工程学院, 长沙 410082)

(威胜集团有限公司 三相表计开发部, 长沙 410082)

摘要: 针对智能电表的发展要求, 主要介绍一款由 MFRC523 芯片设计而成的射频 CPU 卡费控系统在智能电表中的应用。其中简要论述了电表费控系统的原理和系统结构; 重点介绍基于射频 CPU 卡费控系统的特点及优点以及其系统的软件设计和硬件设计。该费控系统运用在智能表中能够使费控响应速度更快、通信更稳定、使用更便捷, 具有很高的实用性。

关键词: 射频 CPU 卡; 费控系统; 智能电表; MFRC523 芯片; ISO/IEC14443A/B

RF CPU Card Charge-Control System Based on MFRC523 Chip

CHEN Shuo-Hui, MAO Jian-Xu, XIAO Qian

(Department of Electronic and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

(3phase meter R&D Department, Wasion Group, Changsha 410082, China)

Abstract: Aiming at requirements for the development of smart meters, the application of RF CPU card charge-control system based on MFRC523 chip in smart meters is introduced in this paper. The principles of the charge control system and its structure are briefly illustrated, and its characteristics and advantages as well as its software and hardware design are highlighted. It enables the charge-control smart meter to respond faster, more accurate, communicate more stable, and use more convenient, which is highly innovative and practical.

Keywords: RF CPU card; reader module; charge control meter; the MFRC523 chip; ISO/IEC14443 A/B

1 引言

随着科学技术飞速发展, 社会服务意识要求也在不断提高, 用户用电收费智能化、网络化已成为一种必然趋势, 费控智能电表正是这一趋势下的产物。当前, 在国家智能电网发展规划下, 从发电站到电网、到变电站、再到用户, 通过智能网关构成的智能电网将形成一条价值链, 而智能电表将成为这条价值链中最早受益的环节之一。目前市场中费控智能电表使用的接触式 IC 卡, 在长期使用中存在摩擦大而引起数据传输错误、寿命短、通讯速率低等缺点。从国家电网公司 2010 年智能电表招标, 以及当前市场中要求实现一卡通充值的需求量可见, 基于射频 CPU 卡费控系统的智能电表将有更广泛的市场。文中基于 MFRC523 芯片的射频 CPU 卡费控系统正是在该市场背景下设计的。

2 射频 CPU 卡费控智能电表的原理

整个射频 CPU 卡费控智能电表由电流互感器、集成计量芯片、微控制器、温补实时时钟、射频卡接口、数据接口设备和人机接口设备组成, 其原理框图如图 1 所示。

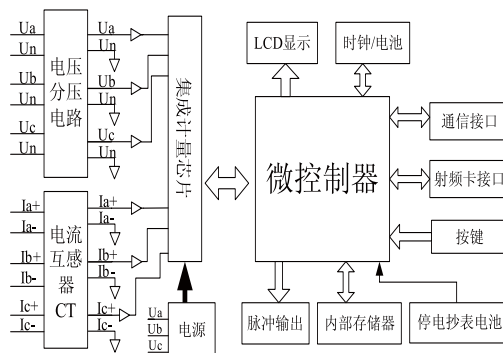


图 1 智能电表总体框图

^① 基金项目: 国家自然科学基金(61072121); 高等学校博士点基金(20070532048); 湖南省自然科学基金(07JJ6135)

收稿时间: 2010-09-13; 收到修改稿时间: 2010-10-20

费控系统的功能主要是用户可通过对电表交费充值，来控制电表是否自动拉闸断电。它包括远程费控和本地费控。远程费控是指电表支持远程购电功能，主站可通过 RS485，载波或 GPRS 下发购电密文命令，电表内部专用芯片将对下发的命令进行解密，实现购电。本地费控则是指采用 CPU 卡作为传递介质来实现购电。CPU 卡采用密钥安全系统，卡片、电表做到一卡一密、一表一密来保证其安全性。费控系统运用到智能表中能够有效地解决上门抄表和收电费难的问题。同时，用户的购电信息实行微机管理，方便进行查询、统计、收费及打印票据等。

3 射频CPU卡费控系统的优点

射频 CPU 卡（即非接触式 CPU 卡），卡内集成电路中带有处理器 CPU、存储单元（包括随机存储器 RAM、程序存储器 ROM（Flash）、用户数据存储单元 EEPROM）COS 系统以及射频天线电路^[1]，如图 2 所示：

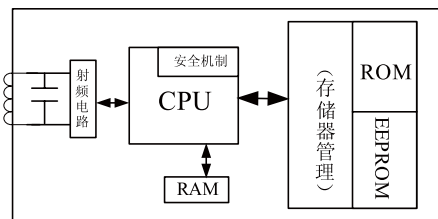


图 2 射频 CPU 卡结构图

其中 EEPROM 存放用户应用数据，ROM 存放固化的监控程序，CPU 保护 EEPROM 中数据安全。当射频 CPU 卡触发外部读写设备，读写设备只能和卡内的 CPU 进行通讯，数据交换也只能和 RAM 进行，无法对 EEPROM 中的数据进行直接访问，从而具备了用户数据安全保护功能。

当前国家电网规划行成的市场上使用的多为接触式 IC 卡费控。接触式 IC 卡在使用中存在许多弊端：首先，卡在读写器上经常拔插容易造成磨损导致接触不良而引起数据传输错误，并且卡与读写器之间的磨损也大大缩短了卡和读写器的使用寿命；另外，接触卡的通讯速率较低，再加上插拔卡的动作延误，造成每一笔交易需要较长时间的等待。而针对当前要求实现一卡通计费的市场，如校园学生使用的校园卡，多

使用的是低频卡，低频读写芯片和卡片的通信速率低，无法在短时间内完成大量数据的交互；其次卡片的容量也较小，无法存储大量数据实现一卡多表、阶梯费率计费。

具体数据如表 1 所示：

表 1 接触式 IC 卡和射频 CPU 卡各项数据比较

	通讯方式	通讯速率	卡片容量	数据处理时间	使用寿命
接触式 IC 卡	串口	125Kbps	1K~4K 字节	4s~6s	≤ 10 万次
射频 CPU 卡	SPI	800Kbps	8K~64K 字节	1s~2s	5~10 年

本文设计的射频 CPU 卡费控系统能够满足以上市场要求。它是通过无线电波与读写设备进行通讯，无裸露触点，与读写器间也无机械接触；在整个电表的结构制作中，整个表盒可以完全密封，使电表可靠性和使用寿命提高；同时，采用 SPI 或是 I2C 通讯，其通讯响应速度不但比接触式 IC 卡的串口通讯响应速度更快，而且卡内嵌有数据存储单元 EEPROM，能够安全的保存用户数据，其容量满足一卡通的要求。同时，射频 CPU 卡在一定距离范围内可以在天线方向与读写设备通讯，而无需再插卡，从而使操作更为方便、快捷。该费控系统能够以模块的形式运用到单相表、三相表、水表、气表等表上，用途广泛。

4 MFRC523 射频 CPU 卡费控系统的设计

MFRC523 是 NXP 公司设计的一款应用于 13.56MHz 非接触式通信中高集成度读写卡芯片。此芯片利用先进的调制和解调原理，完全集成了在 13.56MHz 下所有类型的被动非接触式通信方式和协议，并支持 ISO/IEC14443 A/B 的所有层应用^[2]。目前在国内使用的二代身份证就是 TypeB 标准，可见 MFRC523 读卡范围广泛，以及其灵活性；同是它有助于实现信息实名制，安全性更高。电表初始化运行时，在程序主循环中，每隔约 300ms 时，读写模块会进行一次寻卡操作，查看是否有卡感应，进而判断卡的类型，选卡，对卡进行读写操作。系统的原理框图如图 3 所示：

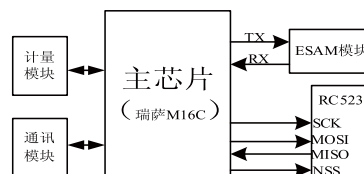


图 3 费控系统原理框图

图中采用的 ESAM 模块，是集成了 SM1 算法的安全认证芯片，它内部集成有 EEPROM，可以存储经过安全认证的数据。在读卡时可以对数据进行加解密处理以确保数据传输的安全性和完整性。通讯模块除了实现远程费控外，也是实现购电信息网络与智能化的途径。系统工作的流程如图 4 所示：

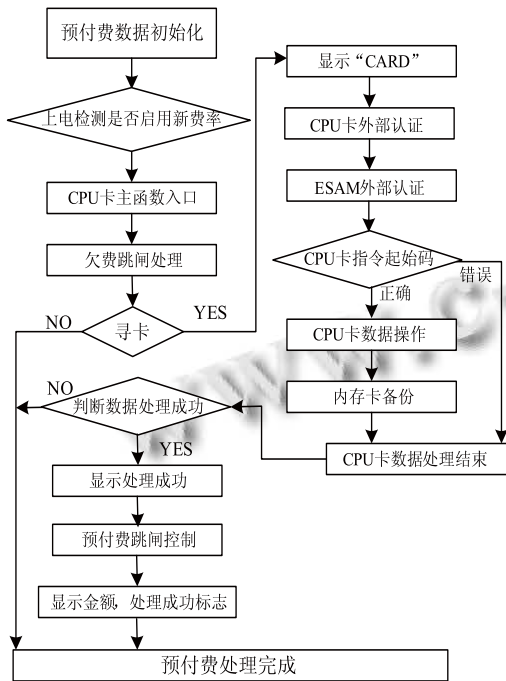


图 4 费控主程序流程图

当用户所购射频 CPU 卡靠近射频卡时，若系统寻卡成功，则液晶显示“CARD，并辅助“读卡中”提示，直至处理结，如果读卡成功，则显示“GOOD”，并辅助显示“读卡成功”；若系统寻卡不成功，则会显示“ERROR”，并辅助显示“读卡失败”。

5 程序设计

射频 CPU 卡费控系统的读写操作是基于 ISO/IEC14443 的通信协议，按照图 4 费控主程序流程图完成，其中基于 ISO/IEC14443 通信协议的具体操作如流程图 5 所示。

它包括数据初始化、寻卡操作、防冲突操作、选卡认证操作以及读写数据等操作，其中，防冲突^[3]是指：MFRC523 在使用 MANCHESTER 编码时，支持位冲突检测，即如果有多张射频卡片处在电能表读写模块的天线工作范围之内，MFRC523 能检测出来并通知

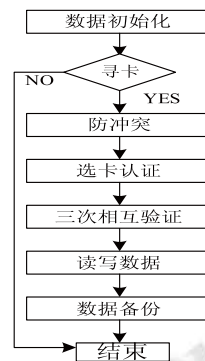


图 5 ISO/IEC14443 通信协议流程图

到 MCU，让 MCU 通过防冲突算法来与每一张卡进行通讯，根据射频卡片卡片的序列号来判别，从而保证一次只对一张卡进行操作。数据操作：通过认证后，就可以对扇区中的块进行操作，包括读、写、加、减、存储、传输等操作。程序如下：

```
Char PcdRequest(unsigned char req_code,unsigned char *pTagType); // 寻卡
short M522PcdCmd(unsigned char Command, unsigned char *pInData, unsigned char InLenByte, unsigned char *pOutData, unsigned int *pOutLenBit); // 通过 RC523 和符合
```

ISO14443 标准卡通讯

```
.....
void RF_CPUcard_Main(void)
{
    InitializeSystem();
    .....
    While (1)
    {
        .....
        if(Request()==0) // 14443 command
        {
            if(Anticoll_GetCardNo()==0)
            {
                if(PiccSelect()==0)
                {
                    if(Send_Rats()==0)
                    return Gcst_Success;
                }
            }
        } // 寻卡, 防冲突, 选卡, 通讯
        .....
        switch(RF_Card_Type) // 数据操作
        {
            case Cst_UseMakeUpCard:
```

```

        i=Proc_UserCard();
        break;
    case Cst_RelayTestCard:
        i=Proc_RelayTestCard();
        break;
    ..... ..... .....
default:
    CardStateReg=CardTypeErrData;
    break;    }
CardSearchOk=0;
P_523RST_active;
Delay_52us(Cst_DelayTime);
return i;
..... ..... ..... }
    
```

6 射频CPU卡费控系统的硬件设计

硬件是所有系统的基础，对于基于 MFRC523 芯片的射频读写模块，合理的电路设计不仅可以保证系统的可靠工作还能简化系统的生产调试等工作。整个硬件设计划分为两个部分：芯片接口电路和天线部分电路。

6.1 MFRC523 芯片的接口电路设计

该芯片使用频率为 27.12MHz 的晶振，晶振负载电容为 22pF。MFRC523 采用 SPI 的数据通讯接口，为保证与 MCU 之间的可靠通讯，数据传输电路加入低通滤。VMID 引脚必须接 0.1uF 电容到地，否则会导致芯片不能正常接收到卡片返回的数据。电源是芯片正常工作的基础，除了保证电源供给的稳定可靠外，还必须注意电源的退耦问题。芯片一共三组电源，每组电源都需要使用 0.1uF 的退耦电容，尤其是 TVDD 和 TVSS 这组电源是芯片发送电路的电源引脚。由于芯片在工作时（发射端电流 I_{DD} 为 60mA-100mA），射频电路会消耗大量的能量，如果这路电源退耦没起作用的话，将会导致芯片不能正常工作^[4]。

6.2 MFRC523 芯片的天线设计

读写模块与射频 CPU 卡之间的通讯，是依靠读写模块的天线向射频卡天线传递能量来实现的。即当模块天线上输入变化的电流 I ，线圈将产生磁通量 Φ 使射频 CPU 卡线圈产生感应电动势 U 。射频 CPU 卡上所获得的感应电动势与读写设备天线和射频 CPU 卡上天线距离以及读写设备线圈发射出来的磁通量强度有

关，当 CPU 卡上感应不到足够的电动势，射频 CPU 卡将无法进行数据传递；只有卡上感应到了足够的电动势，外部读写设备才能接收到射频 CPU 卡回应的数据让通讯成功。射频读写模块天线具体设计如图 6 所示：

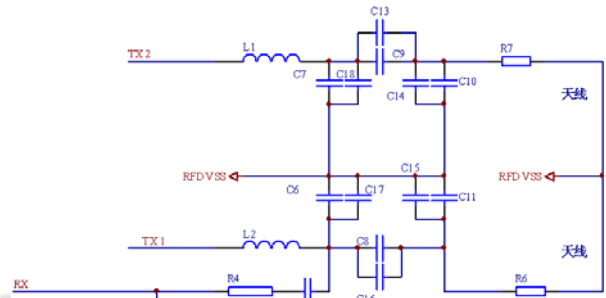


图 6 天线原理图

射频天线部分的设计相对来说是设计中的难点与重点，尤其是 PCB 板的绘制和元器件的选择。首先是天线匹配电路的设计，天线匹配的好坏将直接影响射频信号的空间耦合效率，即直接影响读卡的距离与成功率^[5]。芯片中 TX1 和 TX2 是射频信号的输出引脚，输出的 13.56MHz 的射频信号，且有较大的电流，所以由这两个引脚结出来的引线都必须大于 20mil，同时尽量减少线上的过孔数量，过孔的尺寸也需要尽量发大一些（最好过孔内径需要等于线宽）。两个电感的布局亦需要注意，电感是磁性元件会产生磁辐射，除了布局在较空旷的部分外，还要保持两电感的间距，并且尽量避免两路信号的交叉；其次是天线的设计，天线设计要点为：

- 1) 元器件选择需符合前面提到的要求；天线的线宽需大于 30mil，线间距保持为 15mil，尽量减少天线线路中的过孔数量，且使用大过孔。
- 2) 天线的圈数选择 3~4 圈，在条件允许的情况下，尽量使用大面积天线，同时天线折角处尽量使用圆角。
- 3) 使用双路天线时，需保证两回路天线基本一致，且天线正下方投影范围内不要有大面积的覆铜或磁性元器件。

7 调试和工作结果

调试主要是让射频卡天线部分能发射出性能良好的载波信号。整个天线包括两级谐振电路，第一级谐

谐振电路的主要作用是滤除高次谐波和放大信号谐振,第二级谐振电路的作用是谐振放大和信号耦合。计算谐振频率的公式为: $f=1/(2\pi\sqrt{LC})$ 从图7中可以看出,一级谐振是由TX引脚输出后所接的1 μ H电感和两个68pF电容组成,他们的谐振频率是13.56MHz。第二级谐振由天线线圈的电感与两个100pF的电容组成,谐振频率仍为13.56MHz。调试结果如图7所示:

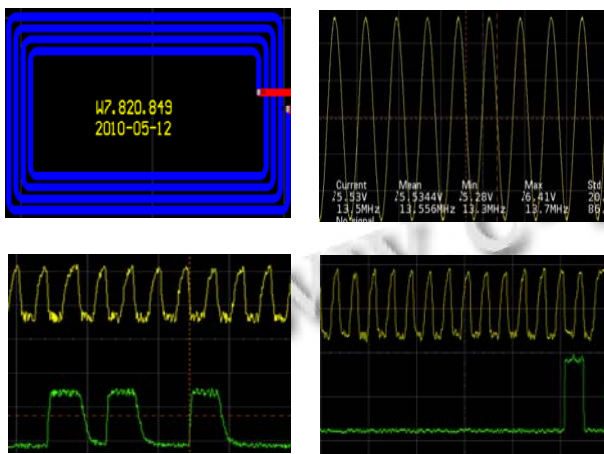


图7 调试结果图

天线的面积为4.5mm \times 5.2mm,其中线宽为30mil,线距为15mil;天线输出频率为13.56MHz,度为25.2V的载波信号;按照ISO14443通讯标准发送0x52,接收到0x08,从而验证寻卡成功,读卡距离为5~5.5cm。

(上接第100页)

参考文献

- 1 Marecenaro L, Ferrari M, Marchesotti L. Multiple Object Tracking under Heavy Occlusions by Using Kalman Filter Based on Shape Matching. IEEE International Conference on Image Processing, Rochester, New York, USA, 2002:341-344.
- 2 Natan P. Robust Tracking of position and velocity with kalman snakes. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Matching Intelligence, 1999,22(5):564-569.
- 3 Galvin B, Mccane B, Novins K. Visual Snakes for Occlusion Analysis. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Fort Collins, Colorado, USA, 1999: 294-299.
- 4 Nguyen HT, Marcel W. Occlusion Robust Adaptive Template Tracking. Proc. of 8th IEEE International Conference on Computer Vision, Vancouver, Canada, 2001: 678-683.

8 结语

本文基于MFRC523设计的射频CPU卡费控系统应用在智能电表中符合射频电磁场辐射抗扰度GB/T 17626.3-2006标准,其射频辐射范围和强度对用户无人身安全隐患;同时通过各项试验验证,该射频CPU卡费控系统运用到智能电能表中符合国网射频卡表招标要求,具有很强的实用性。

创新点:(1)该费控系统能够以模块的形式运用到单相表、三相表、水表、气表等表上,用途广泛。(2)采用射频CPU卡,有助于购电卡一卡通化;(3)MFRC523读卡芯片既支持A卡也支持B卡,增加了电表读卡的灵活性,同时也有助于实现信息实名化;(4)整个表盒密封,与外界隔离,延长了电表的寿命。

参考文献

- 1 易霞,滕召胜,张向程,周良璋.Mifarel 射频卡在预付费电表中的应用.自动化仪,2007,(28):11-12.
- 2 MFRC523 product data sheet. 2010. NXP founded by Philips.
- 3 李军,戴瑜兴,谢晓杰.基于FM1702SL的射频卡能表的设计.嵌入式系统应用,2009:4.
- 4 邵贝贝,等译.嵌入式实时操作系统uC/OS-II.第2版.北京:北京航空航天大学出版社,2003.1-544.
- 5 唐承佩,倪江群.基于MF-RC500的通用射频卡读写模块的设计.仪表技术与传感器,2005,(7):36-39.

- 5 郁梅,王圣男,蒋刚毅.复杂交通场景中的车辆检测和跟踪新方法.光电工程,2005,32(2):67-70.
- 6 陈功,杨奎元,周荷琴,等.鲁棒的实时多车辆检测与跟踪系统设计.信号处理,2009,25(4):607-612.
- 7 Dockstader. Multiple Camera Tracking of Interacting and Occluded Human Motion. Proc. IEEE, 2001,89(10):1441-1455.
- 8 Hu WM, Hu M, Zhou X. Principal axis-based correspondence between multi-cameras for people tracking. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006,28(4): 663-671.
- 9 杨艳芳,齐美彬,王倩,蒋建国.基于运动检测与运动搜索的多目标跟踪.计算机工程,2008,34(19):222-224.
- 10 李璟,刘怀愚,洪留荣.改进的道路背景提取和更新算法.计算机应用,2010,30(5):1266-1267.