

# 基于 MFRC522 的 RFID 读卡器设计

陈 杰, 应时彦, 朱 华

(浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310023)

**摘要:**设计了一种基于 MFRC522 的读卡器, 工作频率为 13.56 MHz, 读取支持 ISO14443A 标准的射频卡片。给出系统硬件设计原理图, 研究 MFRC522 发射电路中滤波、天线阻抗匹配和接收三部分电路元件值的确定方法。分析电路中电容元件的封装尺寸和材质对射频信号收发影响, 提出 PCB 天线的设计要求。阐述系统软件控制流程。捕捉并分析读卡器和射频卡之间收发信号的波形图。测试结果显示天线周围无金属物时的读卡距离最高可达 60 mm, 电路的稳定性和可重复性优良。

**关键词:**RFID 读卡器; MFRC522; PCB 天线; 阻抗匹配

**中图分类号:**TP23

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-4303(2014)06-0616-05

## Design of RFID card reader based on MFRC522

CHEN Jie, YING Shi-yan, ZHU Hua

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

**Abstract:** A kind of RFID card reader which is based on MFRC522 and works on the frequency of 13.56 MHz is designed. The reader can read RFID cards that support ISO14443A standard. The principle schematic of hardware design is given. The methods to determine the component values in circuits in the parts of radio-frequency filtering, antenna impedance matching and receiving are studied. The impacts of package size and material in the capacitive element in the circuit on the RF signal receiver are analyzed. The design requirements for PCB antenna are presented. The flow of control system software is described. The waveforms between the reader and RFID card are captured and analyzed. The experimental results show that the readable distance of reading card can be up to 60 mm with no metal around the antenna. The circuit is stable and repeatable.

**Key words:** RFID card reader; MFRC522; PCB antenna; impedance matching

RFID(Radio frequency identification)读卡器是指能读取电子标签数据的自动识别设备, 常见于门禁、消费机、停车场、公交和租赁系统<sup>[1]</sup>等场合, 具有读写方便、识别速度快、使用寿命长以及安全性高等优点。RFID 读卡器的设计难点在于天线的设计及其阻抗匹配。在合适的天线尺寸基础上, 增大或减小尺寸不会提高读卡距离, 而匹配阻抗不佳将会导致无法读取卡片数据或降低读卡距离。因此, 选择一

款业界出货量大的射频读卡芯片, 给出确定电路元件值和匹配天线阻抗的方法, 对门禁等非接触式读卡系统的设计具有指导意义。

设计了一种符合 ISO14443A 标准的 RFID 读卡器, 采用恩智浦(NXP)公司的 MFRC522 射频读写芯片。研究读卡器射频信号滤波、PCB(Printed circuit board)天线设计和天线阻抗匹配的方法, 设计的读卡器读卡距离最高可达 60 mm, 高于芯片资

收稿日期: 2014-05-30

基金项目: 浙江省公益项目(2013C33053)

作者简介: 陈 杰(1989—), 男, 浙江杭州人, 硕士研究生, 研究方向为嵌入式系统和物联网系统研究开发, E-mail: chenjiefly@163.com.

料给出的 50 mm.

1 读卡器电路设计

读卡器电路包括微控制器电路、射频电路和 PCB 天线三部分,图 1 为读卡器的硬件结构框图.微控制器 STM8S003F3 和 MFRC522 之间的通信接口为 SPI 方式. PCB 天线和电子标签内的线圈以非接触的方式耦合,实现能量和数据的传输.

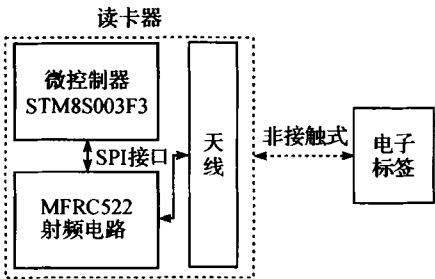


图 1 读卡器硬件结构框图  
Fig. 1 Hardware structure of card reader

微控制器采用意法半导体 (ST) 公司的 STM8S003F3 单片机,最高工作频率 16 MHz,拥有先进的 STM8 内核、哈佛结构存储器和三级流水线功能,内置 8 kB 的 Flash、1 kB 的 RAM 和 128 字节的 EEPROM<sup>[2]</sup>. MFRC522 是一款高集成度的非接触式射频读写卡芯片,工作频率为 13.56 MHz,支持 ISO14443A 标准,提供 SPI、UART 和 I<sup>2</sup>C 三种主机接口方式,读写模式下的最大读卡距离为 50

mm<sup>[3]</sup>. 测试的电子标签类型为 Mifare One S50 射频卡片<sup>[4]</sup>.

1.1 STM8S003F3 电路设计

控制器 STM8S003F3 的硬件电路如图 2 所示. RST 引脚提供 MFRC522 芯片的复位信号;IRQ 是 MFRC522 向单片机提供的中断信号;TXD 和 RXD 引脚为单片机的串行接口,向上位机发送读卡数据或接收读卡指令;SWIM 和 NRST 引脚是单片机的程序下载口;LED 引脚控制发光二极管 D<sub>1</sub> 的点亮和熄灭,以灌电流的方式驱动;BEEP 引脚控制蜂鸣器 S<sub>1</sub> 的鸣叫,以 NPN 三极管开关方式驱动;I<sup>2</sup>C 和 EA 引脚可以配置 MFRC522 与单片机的通信接口方式,配置方法参考 MFRC522 数据手册<sup>[3]</sup>;NSS、SCK、MOSI、MISO 分别为 SPI 接口的片选、时钟、主出从入和主人从出引脚.

1.2 MFRC522 射频电路设计

MFRC522 射频电路是整个读卡器设计的核心,完成对电子标签的寻找、防碰撞<sup>[5]</sup>、密钥验证和块读写等操作.要实现这些功能,必须计算电路中每个元件值的大小.只有合适的天线尺寸和匹配的阻抗电路才能令天线调谐,使发射的信号幅度和读卡距离最大. MFRC522 电路如图 3 所示,包括 EMC 滤波、PCB 天线、阻抗匹配和接收电路 4 个部分.

在射频电路设计过程中,需要考虑电容元件的封装尺寸和材料.不同封装大小的电容具有不同的电压承受、功率承受和频率特性.

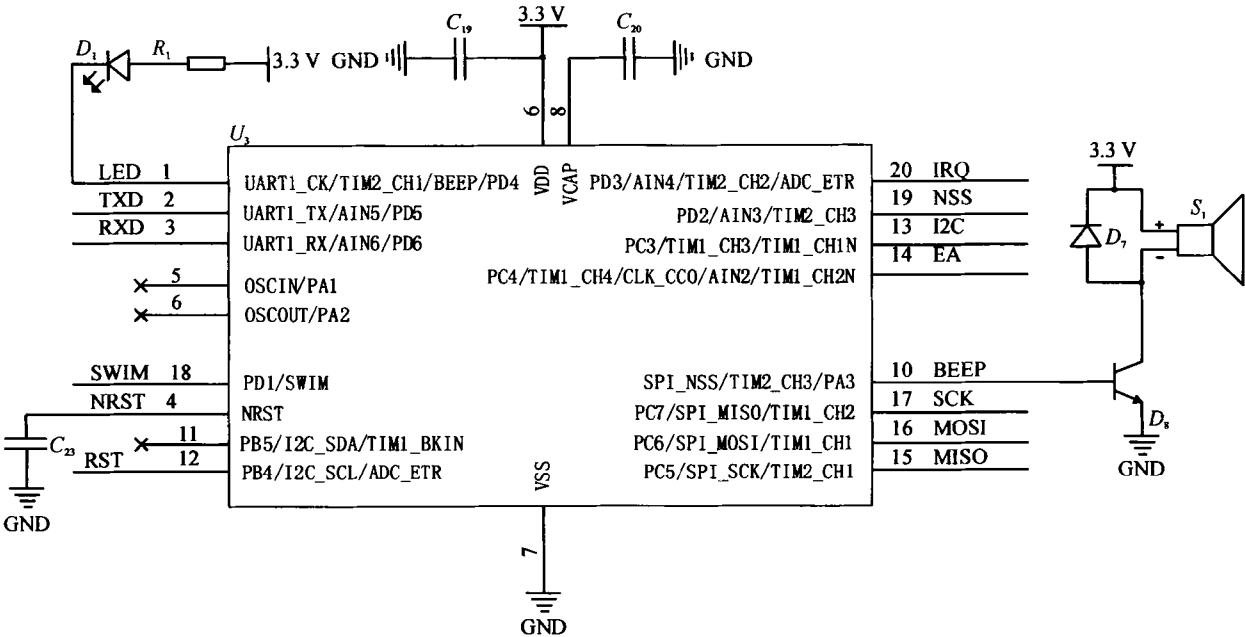


图 2 控制器 STM8S003F3 电路  
Fig. 2 Controller circuits of STM8S003F3

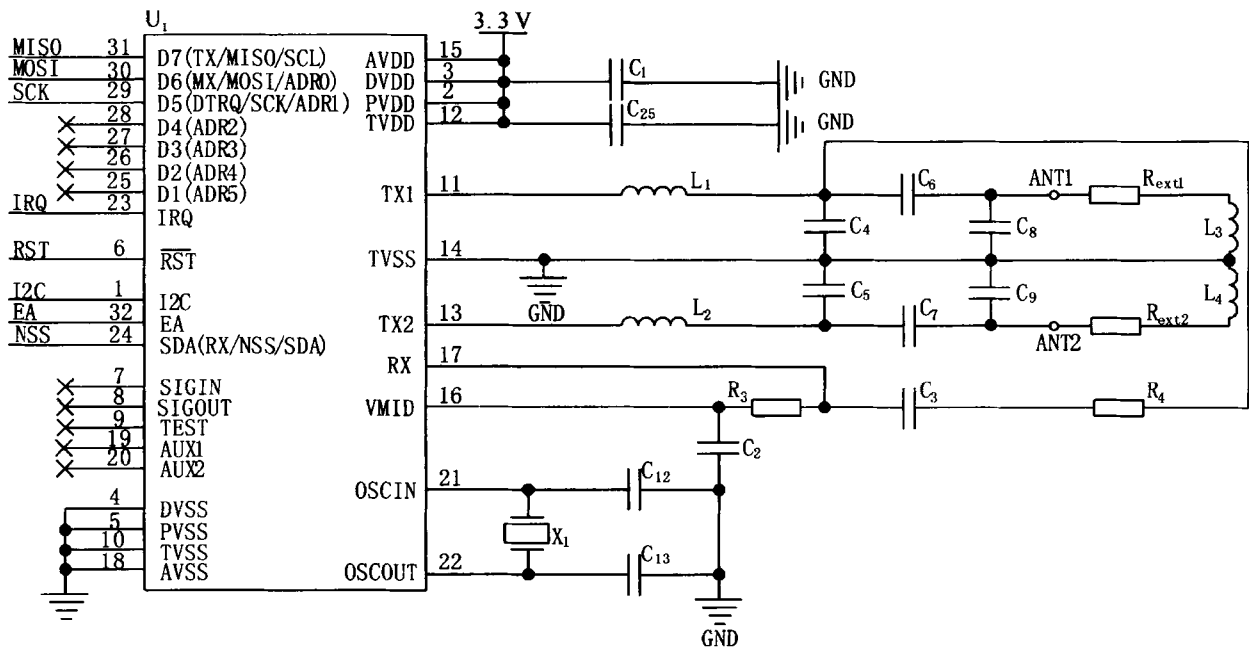


图 3 MFRC522 射频电路

Fig. 3 Radio-frequency circuits of MFRC522

在同阻抗下,频率越高,电容容量可以越小;负载电流越大,容量就应该越大。与 915 MHz 和 2.4 G 等高频段相比,13.56 MHz 属于中低频;而发射天线上的信号幅度越大,则天线上电流、读卡距离越大,效果越好。因此,射频电路中的电容采用 0805 封装的贴片电容。另一个不可忽视的因素就是电容的材质。电容的电气特性容易受到频率变化的影响,特别是在高频时,电容会呈现电感特性,这将极大影响射频信号的发射效果。故电容皆选择电气性能最稳定的 NPO 材质的贴片电容,封装为 0805。电路中的晶振  $X_1$  为 27.12 MHz 的石英振荡器。

#### 1.2.1 EMC 滤波电路设计

EMC(Electromagnetic compatibility)滤波电路本质是一个低通滤波器,作用是对 MFRC522 发射的射频信号中的三次、五次和高次谐波进行滤波,抑制载波上的高频毛刺,提高数据传递的可靠性。

EMC 滤波电路共有 4 个元件,包括  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $C_4$  和  $C_5$ 。根据电路对称性, $L_1$  与  $L_2$  的感值相同,需要使用磁屏蔽贴片绕线电感,低通滤波器截止频率  $f_L$  取 14.3 MHz<sup>[6]</sup>。当确定电感值  $L_{1,2}$  后,电容值  $C_{4,5}$  可以根据 LC 滤波器截止频率的计算公式得到:

$$C_{4,5} = \frac{1}{(2\pi f_L)^2 \cdot L_{1,2}} \quad (1)$$

需要注意的是 NPO 材质电容无法做到大容量, $C_{4,5}$  的取值应小于 220 pF。在此选择电感  $L_{1,2}$  的感值为 2.2  $\mu$ H,代入(1)式计算并取标称值后得到  $C_{4,5}$  为 56 pF。

#### 1.2.2 PCB 天线设计

RFID 系统需要耦合良好且可靠性高的天线来精确收发信号<sup>[7]</sup>。在读卡器读卡过程中,卡片的能量由 PCB 天线发射的高频信号提供。因此读卡的效果直接取决于 PCB 天线的性能,它受到板厚、线宽、线厚、线距、天线形状和环境状况等因素影响。任一参数未符合要求都会极大降低天线发射信号幅度,直接表现为读卡距离的缩短。图 3 中的  $L_3$  和  $L_4$  为发射天线。天线为 4 匝矩形线圈,线宽 1.1 mm,线距 0.25 mm,板厚 0.6 mm,外圈尺寸 41 mm $\times$ 42.5 mm,内圈尺寸 31.5 mm $\times$ 33.5 mm。天线中所有 90° 拐角进行了 135° 折角处理,EMC 滤波输出至阻抗匹配电路之间的走线做了圆弧化处理。天线中心抽头接到 MFRC522 的发射信号地 14 脚 TVSS 上。为了提高天线调谐成功率,天线做了 50  $\Omega$  阻抗匹配处理。

#### 1.2.3 阻抗匹配电路设计

阻抗匹配电路包括 4 个元件,如图 3 中的  $C_6$ 、 $C_7$ 、 $C_8$  和  $C_9$ 。计算这些容值涉及到天线部分的阻尼电阻  $R_{ext1}$  和  $R_{ext2}$ 。图 4(a) 为无阻尼电阻时 PCB 天线的等效电路,其中  $C_a$  是等效电容, $L_a$  是等效电感, $R_a$  是等效电阻;图 4(b) 为增加阻尼电阻后 PCB 天线的等效电路,其中  $C_{pa}$  是等效电容, $L_{pa}$  是等效电感, $R_{pa}$  是等效电阻。

使用网络分析仪或阻抗分析仪可测得 PCB 天线的  $C_a$ 、 $L_a$  和  $R_a$ 。阻尼电阻  $R_{ext1,2}$  的确定式为

$$R_{ext1,2} = \frac{1}{2} \left( \frac{\omega \cdot L_a}{Q} - R_a \right) \quad (2)$$

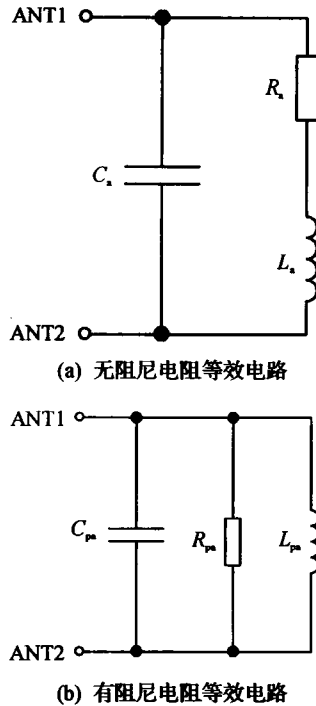


图 4 PCB 天线等效电路

Fig. 4 Equivalent circuit of PCB antenna

式中:  $\omega = 2\pi f_0$ ,  $f_0 = 13.56$  MHz;  $Q$  为最佳品质因数, 取值  $35 \pm 35 \times 10\%$ <sup>[6]</sup>. 增加阻尼电阻后的天线等效电路参数  $C_{pa}$ ,  $L_{pa}$ ,  $R_{pa}$  分别为

$$C_{pa} \cong C_a \quad (3)$$

$$L_{pa} \cong L_a \quad (4)$$

$$R_{pa} \cong \frac{(\omega \cdot L_a)^2}{R_a + 2 \cdot R_{ext1,2}} \quad (5)$$

EMC 滤波电路和阻抗匹配电路之间的转换阻抗为  $Z_{tr} = R_{tr} + jX_{tr}$ , 其中  $R_{tr}$  和  $X_{tr}$  分别为

$$R_{tr} = \frac{R_{match}}{(1 - \omega^2 \cdot L_{1,2} \cdot C_{4,5})^2 + \left(\omega \cdot \frac{R_{match}}{2} \cdot C_{4,5}\right)^2} \quad (6)$$

$$X_{tr} = 2\omega \frac{L_{1,2} \cdot (1 - \omega^2 \cdot L_{1,2} \cdot C_{4,5}) - \frac{R_{match}^2}{4} \cdot C_{4,5}}{(1 - \omega^2 \cdot L_{1,2} \cdot C_{4,5})^2 + \left(\omega \cdot \frac{R_{match}}{2} \cdot C_{4,5}\right)^2} \quad (7)$$

上式中的  $R_{match}$  是 MFRC522 发射脚 TX1 和 TX2 之间的发射匹配阻抗  $Z_{match}$  的实部, 阻抗匹配电路的 4 个电容元件的天线调谐作用就是使  $Z_{match}$  的虚部  $X_{match}$  为 0, 而实部  $R_{match}$  取  $50 \Omega$ <sup>[6]</sup>.  $C_{6,7}$  和  $C_{8,9}$  分别为

$$C_{6,7} \approx \frac{1}{\omega \cdot \left(\sqrt{\frac{R_{tr} \cdot R_{pa}}{4}} + \frac{X_{tr}}{2}\right)} \quad (8)$$

$$C_{8,9} \approx \frac{1}{\omega^2 \cdot \frac{L_{pa}}{2}} - \frac{1}{\omega \cdot \sqrt{\frac{R_{tr} \cdot R_{pa}}{4}}} - 2 \cdot C_{pa} \quad (9)$$

通过式(2—9)的迭代计算, 取标称值后, 选择阻尼电阻  $R_{ext1}$  和  $R_{ext2}$  为 0805 封装的  $0 \Omega$  贴片电阻,  $C_{6,7}$  的值为  $15 \text{ pF}$ ,  $C_{8,9}$  的值为  $180 \text{ pF}$ , 都是 0805 封装 NPO 材质的贴片电容.

#### 1.2.4 接收电路设计

接收电路包括 4 个元件, 即  $C_2$ 、 $C_3$ 、 $R_3$  和  $R_4$ . 按照以下步骤可以确定这 4 个元件的值.

##### 1) 接收电路元件初始值<sup>[6]</sup>

$C_2$  初始值为  $100 \text{ nF}$ ,  $C_3$  初始值为  $1 \text{ nF}$ ,  $R_3$  初始值为  $1 \text{ k}\Omega$ .

##### 2) 测试 RX 脚和 $C_4$ 两端信号

使用  $50 \Omega$  阻抗、电容小于  $2 \text{ pF}$  的示波器探头测试 RX 脚对地信号, 记录信号峰峰值  $U_{RX}$ , 用相同的方法测试  $C_4$  两端信号, 记录信号峰峰值  $U_{C4}$ .

##### 3) 计算 $R_4$

$R_4$  值的计算式为

$$R_4 = R_3 \cdot \left(\frac{U_{C4}}{U_{RX}} - 1\right) \quad (10)$$

经过测量并计算  $R_4$ , 取标称值后为  $20 \text{ k}\Omega$ , 选用 0805 封装的贴片电阻, 精度为  $1\%$ .

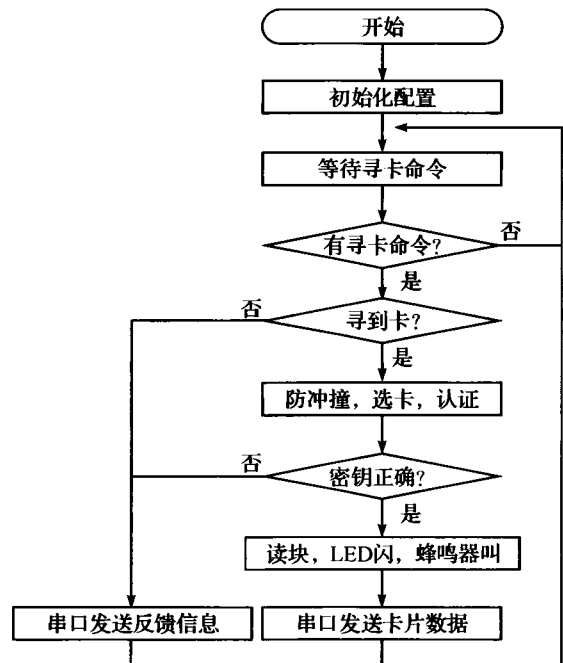


图 5 程序流程图

Fig. 5 Program flow diagram

## 2 软件设计

读卡器程序流程图如图 5 所示, 系统首先进行系统时钟、GPIO 口、串口和 MFRC522 等初始化配置. 完成后, 读卡器进入正常工作状态, 等待接收上位机的寻卡指令. 一旦接收到正确的寻卡指令, 读卡

器立即驱动天线发射经过调制的射频信号搜索出现在天线范围内的卡片,若未搜索到,则串口返回未寻到卡信息;若搜索到卡片,则依次进行防碰撞、选卡和密钥验证过程.若密钥验证错误,则串口返回验证错误信息;若验证正确,则进行读块数据操作,此时 LED 闪烁一次,蜂鸣器鸣叫一声.然后将读到的卡片数据、卡号等信息打包成一帧数据通过串口反馈给上位机,读卡器再次进入等待寻卡状态.

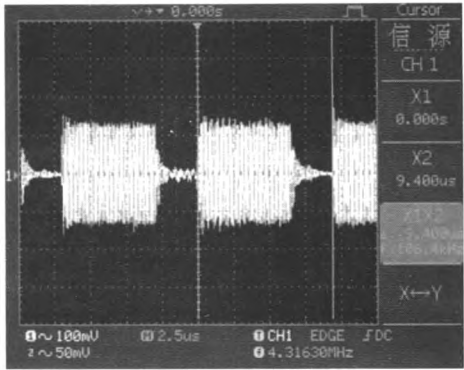
### 3 实验与分析

对读卡器进行测试,利用固纬公司生产的 GDS-1022 型示波器测试 PCB 天线上的射频信号.图 6(a)为读卡器向卡片发射信号的波形图,图 6(b)为读卡器接收卡片反馈信号的波形图.根据 ISO14443A 标准,读卡器到卡片信号采用 100% 的幅度调制,发送 Miller 编码信息,脉冲长度为  $3\text{ }\mu\text{s}$ .卡片到读卡器的信号采用曼彻斯特编码并使用副载波负负载调制,副载波频率为  $846.5\text{ kHz}$ .两种通信方式的每个位帧长度都是  $9.44\text{ }\mu\text{s}$ ,传输速率为  $105.9\text{ kHz}$ <sup>[8]</sup>.经过实际测量,示波器显示读卡器到卡和卡到读卡器的位帧长度都为  $9.4\text{ }\mu\text{s}$ ,误差  $0.42\%$ ;传输速率都为  $106.4\text{ kHz}$ ,误差  $0.47\%$ .考虑示波器测量和操作误差,设计的读卡器发射和接收波形都是符合 ISO14443A 标准的.

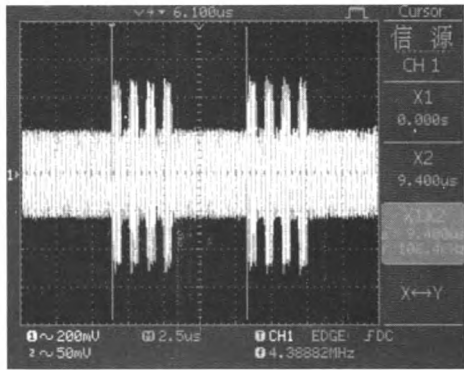
读卡器天线周边的环境对读卡距离有较大的影响,特别是周围有金属物存在时,一般读卡距离会减小.在天线周围无金属物的情况下,测试读卡器读卡最大距离为  $60\text{ mm}$ ;在天线正下方  $10\text{ mm}$  处放置长宽为  $305\text{ mm}\times 29\text{ mm}$  的条形金属物时,测量读卡最大距离为  $55\text{ mm}$ .

### 4 结 论

设计了一种基于 MFRC522 的 RFID 读卡器,包括微控制器电路、射频电路和 PCB 天线.读卡器可读取射频卡片的卡号和块内存储的数据,并通过串行口接收上位机命令或向上位机发送数据,读卡器状态和读卡过程用 LED 和蜂鸣器指示.测量了周围无金属物时的最大读卡距离为  $60\text{ mm}$ ,高于 MFRC522 数据手册中给定的最大典型操作距离  $50\text{ mm}$ ,达到设计要求.读卡器的电路原理图、天线的阻抗匹配方法以及天线的尺寸等参数对于非接触式读卡系统的设计具有非常重大的指导意义.



(a) 读卡器发射波形图



(b) 读卡器接收波形图

图 6 PCB 天线波形测试

Fig. 6 Waveform test of PCB antenna

#### 参考文献:

- [1] 李晓,金寿松,冯定忠.基于 RFID 的托盘租赁系统[J].浙江工业大学学报,2011,39(6):666-669.
- [2] STMicroelectronics Inc. STM8S003F3 data sheet (Rev. 1) [EB/OL]. [2011-07-12]. <http://www.st.com>.
- [3] NXP Semiconductors Inc. MFRC522 Contactless Reader IC product data sheet(Rev. 3.6) [EB/OL]. [2011-12-14]. <http://www.nxp.com>.
- [4] NXP Semiconductors Inc. MF1S50yyX/V1 data sheet(Rev. 3.0) [EB/OL]. [2014-03-03]. <http://www.nxp.com>.
- [5] 周晓,曹美玲,李杰,等.一种标签防冲突算法设计[J].浙江工业大学学报,2011,39(6):679-682.
- [6] NXP Semiconductors Inc. Antenna design guide for MFRC52x, PN51x, PN53x (Rev. 1.2) [EB/OL]. [2010-10-11]. <http://www.nxp.com>.
- [7] 张东,姜岩峰,生晓坤. RFID 中天线的优化设计[J].电子测量与仪器学报,2011,25(7):626-629.
- [8] International Organization for Standardization. ISO/IEC 14443-2—2010 Identification cards-contactless integrated circuit cards-proximity cards-part 2: radio frequency power and signal interface [S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2010.

(责任编辑:陈石平)

# 基于MFRC522的RFID读卡器设计

作者：[陈杰](#)，[应时彦](#)，[朱华](#)，[CHEN Jie](#)，[YING Shi-yan](#)，[ZHU Hua](#)  
作者单位：[浙江工业大学信息工程学院, 浙江杭州, 310023](#)  
刊名：[浙江工业大学学报](#)[ISTIC](#)[PKU](#)  
英文刊名：[Journal of Zhejiang University of Technology](#)  
年，卷(期)：2014, 42(6)

引用本文格式：[陈杰](#).[应时彦](#).[朱华](#).[CHEN Jie](#).[YING Shi-yan](#).[ZHU Hua](#) [基于MFRC522的RFID读卡器设计](#)[期刊论文]-[浙江工业大学学报](#)  
2014(6)