

基于 MFRC522 的 RFID 读卡器模块设计

黄俊祥¹, 陶维青²

(合肥工业大学 电气与自动化学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 以 TI 公司的超低功耗单片机 MSP430F149 为主控芯片, 控制恩智浦公司的高集成度读卡器芯片 MFRC522, 设计实现了遵循 ISO/IEC 14443A 协议的读卡器模块。介绍了系统组成和读卡器芯片 MFRC522, 并详细描述了 MFRC522 与 MCU 的接口方案和天线及其匹配电路的设计, 最后简要描述了读卡器的操作流程。

关键词: 读卡器; 射频识别; 射频天线; MSP430; MFRC522

中图分类号: TP391

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2010)22-0016-03

Design of RFID card reader module based on MFRC522

HUANG Jun Xiang¹, TAO Wei Qing²

(School of Electrical Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

Abstract: Design and Implementation of card reader module compatible with ISO / IEC 14443A based on the highly integrated reader/write chip of MFRC522 from NXP, which is under control of MSP430F149 - ultralow - power consumption MCU of TI company. The paper shows the structure of the system and characteristic of MFRC522. Furthermore, the interface scheme between MFRC522 and MCU and the design of antenna with it's matching circuits are present in detail. At the end there is a brief description of operational procedure of the module.

Key words: card reader; RFID; RF antenna; MSP430; MFRC522

目前国内的 13.56 MHz RFID 读卡器芯片市场上, 荷兰恩智浦公司的 Mifare 非接触读卡芯片系列中 MFRC522 系列具有低电压、低功耗、小尺寸、低成本等优点。采用 3.3 V 统一供电, 工作频率为 13.56 MHz, 兼容 ISO/IEC 14443A 及 MIFARE 模式。MFRC522 主要包括两部分, 其中数字部分由状态机、编码解码逻辑等组成; 模拟部分由调制器、天线驱动器、接收器和放大器组成^[2]。MFRC522 的内部发送器无需外部有源电路即可驱动读写天线实现与符合 ISO/IEC 14443A 或 MIFARE 标准的卡片的通讯。接收器模块提供了一个强健而高效的解调和解码电路, 用于接收兼容 ISO/IEC 14443A 和 MIFARE 的卡片信号。数字模块控制全部 ISO/IEC 14443A 帧和错误检测(奇偶和 CRC)功能。模拟接口负责处理模拟信号的调制和解调。非接触式异步收发模块配合主机处理通信协议所需要的协议。FIFO(先进先出)缓存使得主机与非接触式串行收发模块之间的数据传输变得更加快速方便。

1 系统组成

如图 1 所示, 读卡器模块包括 MCU、读卡器芯片、天

线及其滤波匹配电路。MCU 选用 TI 公司的超低功耗单片机 MSP430F149, 该单片机支持多种低功耗模式, 并能够快速唤醒, 具有 60 KB+256 B 的 Flash、2 KB 的 RAM、两个既可做异步 UART 又可以做 SPI 使用的串行通讯口、6 组 I/O 口、一个内部 DCO 和 2 个外部时钟, 非常适合开发低功耗高性能的产品^[3]。在本模块中 MCU 通过 SPI 方式与 MFRC522 连接, 供电电压均为 3.3 V, 所以不再需要外围的电压转换电路, 外接一个天线及简单的滤波匹配电路, 即可实现与卡片的通信。

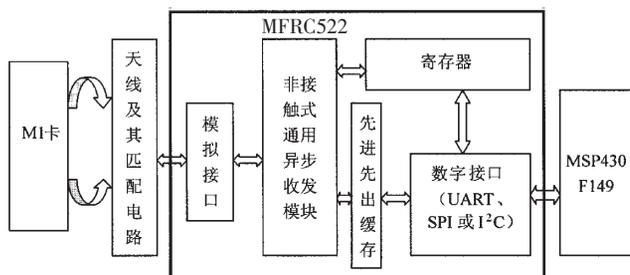


图 1 系统结构

2 工作原理

MCU 通过对读卡器芯片内寄存器的读写来控制读卡器芯片,读卡器芯片收到 MCU 发来的命令后,按照非接触式射频卡协议格式,通过天线及其匹配电路向附近发出一组固定频率的调制信号(13.56 MHz)进行寻卡,若此范围内有卡片存在,卡片内部的 LC 谐振电路(谐振频率与读卡器发送的电磁波频率相同)在电磁波的激励下,产生共振,在卡片内部电压泵的作用下不断为其另一端的电容充电,获得能量,当该电容电压达到 2 V 时,即可作为电源为卡片的其他电路提供工作电压。

当有卡片处在读卡器的有效工作范围内时,MCU 向卡片发出寻卡命令,卡片将回复卡片类型,建立卡片与读卡器的第一步联系,若同时有多张卡片在天线的工作范围内,读卡器通过启动防冲撞机制,根据卡片序列号来选定一张卡片,被选中的卡片再与读卡器进行密码校验,确保读卡器对卡片有操作权限以及卡片的合法性,而未被选中的则仍然处在闲置状态,等待下一次寻卡命令。密码验证通过之后,就可以对卡片进行读写等应用操作。

3 MFRC522 与 MCU 接口实现

MFRC522 提供了 3 种接口模式:高达 10 Mb/s 的 SPI、PC 总线模式(快速模式下能达 400 kb/s,而高速模式下能达 3.4 Mb/s)、最高达 1228.8 kb/s 的 UART 模式。每次上电或硬件重启之后 MFRC522 复位其接口,并通过检测控制引脚上的电平信号来判别当前与主机的接口模式,这样给读写设备的开发带来了极大的可选择性。与判别接口模式有关的两个引脚为 IIC 和 EA:当 IIC 引脚拉高时,表示当前模式为 IIC 方式,若 IIC 引脚为低电平时,再通过 EA 引脚电平来区分,EA 为高表示 SPI 模式,为低则表示 UART 方式。

本设计中采用了四线制 SPI。通信中的时钟信号由 MCU 产生, MFRC522 芯片设置为从机模式,接收来自 MCU 的数据以设置寄存器,并负责射频接口通信中相关数据的收发。数据的传输路径为:MCU 通过 MOSI 线将数据发到 MFRC522, MFRC522 通过 MISO 线发回至 MCU,并且两根线上的每一个字节都是先发高位。两根数据线上的信号电平在时钟信号必须保证上升沿稳定,在下降沿才允许改变,可以连续读写 N 个字节。此外,MCU 向 MFRC522 发送的第一个字节定义操作模式和所要操作的寄存器地址,最高位代表操作模式,1 表示读,0 表示写,中间六位(bit1~bit6)表示地址,最低位预留不用,默认为 0。

因为 MSP430F149 的 SPI 接口个数有限,在此通过软件模拟 SPI 方式,不仅增加了 MSP430F149 的 SPI 接口数量,更充分利用了 MSP430F149 本身丰富的 I/O 口。在此模式下,IIC 引脚为低电平,EA 引脚为高电平,相应的 SDA 和 D7、D6、D5 分别用作 NSS、MISO、MOSI、SCK。接口原理如图 2。

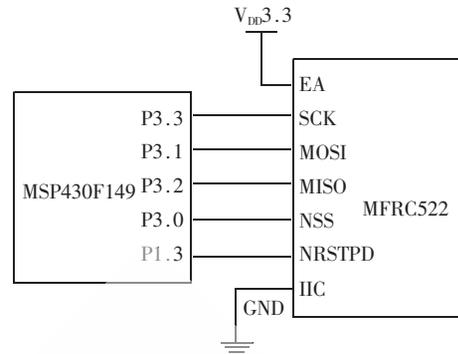


图 2 MFRC522 与 MCU 的接口方案

读操作(主机最先发送字节的最高位为 1):首先将 NSS 拉低(使能通信),将要读出数据的 MFRC522 地址字节按数据表规定的格式进行编码;然后循环 8 次,按编码后的字节逐位将 MOSI 线上数据置一或清零;地址发出去之后, MFRC522 收到读命令,会将对应地址值通过 MISO 发回主机,所以主机只需循环 8 次,把 MISO 上的数据逐位读出,存入临时变量中。最后将 NSS 拉高,一字节的读操作完成。

写操作(主机最先发送字节的最高位为 0):同样首先将 NSS 拉低,将目标地址字节按数据表中规定的格式进行编码;然后循环 8 次将地址发送出去后,再进行 8 次循环,将所需写入的数据仍通过 MOSI 发送过去, MFRC522 对应地址的字节数据即可实现更新。

当有多个数据要传送时,数据是通过 FIFO 缓存来处理(见图 1),即不断向 FIFO 数据寄存器进行读写操作。MFRC522 具有 64 B 的 FIFO 缓存器,专门用来缓存主机与 MFRC522 内部状态机之间的输入和输出数据流。FIFO 缓存器数据输入输出总线是与 FIFO 数据寄存器相连的,每写一个数据到这个寄存器都会存 1 B 到 FIFO 缓存器,并使其写指针加一;相反,从这个寄存器读数据能得到读指针所在处的数据,并且使读指针减小,写指针和读指针之间的距离就是 FIFO 缓冲器中的数据字节数,反映在相应的寄存器中。此外,可以通过重置 FIFO 缓存器的指针来清空缓冲器。

4 MFRC522 天线模块设计

13.56 MHz 射频天线及其匹配电路共有三块:天线线圈、匹配电路(LC 谐振电路)和 EMC 滤波电路^[2]。在天线的匹配设计中必须保证产生一个尽可能强的电磁场,以使卡片能够获得足够的能量给自己供电,而且考虑到调谐电路的带通特性,天线的输出能量必须保证足够的通带范围来传送调制后的信号。

天线线圈就是一个特定谐振频率的 LC 电路,其输入阻抗是输入端信号电压与信号电流之比,输入阻抗具有电感分量和电抗分量,电抗分量的存在会减少天线从馈线对信号功率的提取,因此在设计中应当尽可能使电抗分量为零,即让天线表现出纯电阻特性,这时电路实现谐振^[4],谐振频率计算公式为:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

式中, L 为天线等效电感, C 为天线等效电容, 在本设计中, 天线工作频率 f 为 13.56 MHz, 如果天线的等效电感 L 太高, 等效电容 C 的值就只能很小了, 而一旦超出 $5 \mu\text{H}$, 电容匹配的问题就变得更难了。但因为所用的芯片 MFRC522 上具有两个 TX 引脚, 可以在 TX1 和 TX2 上并联两个天线, 从而使得感抗减半。环形天线电感经验计算公式^[5]为:

$$L_a(\mu\text{H}) = 2I_1 \left[\ln\left(\frac{I_1}{D_1}\right) - K \right] \times N_1^p \quad (2)$$

其中: I_1 为环形天线一圈的长度; D_1 为导线的直径, 或 PCB 板上天线导线的宽度; K 为天线形状因素 (圆形天线取 1.07, 矩形天线取 1.47); N_1 为天线的圈数; p 为与线圈结构相关的系数, 印刷电路板线圈的取为 1.8。

天线品质因数 Q , 计算公式如下:

$$Q = \omega \frac{L}{R} = 2\pi f \frac{L}{R} \quad (3)$$

天线的 Q 值用来评价回路输出效率, Q 值越高, 其能量输出效率越高, 但当 Q 值过高时, 其特性会导致通带变窄, 副载波频率处的能量幅度太小甚至在天线的边带之外, 从而影响调制信号的发送, 得不偿失。因此采用 10~30 的低 Q 值设计^[5], 若经式(3)计算的 Q 值大于 30, 可在天线的两边分别串联一个电阻 R_q 以降低 Q 值, 相当于天线增加电阻, R 变成 $R_a + 2R_q$, 由式(3)可推出每边电阻的计算公式为:

$$R_q = \frac{1}{2} \left(\omega \frac{L_a}{Q} - R_a \right) \quad (4)$$

式中: $\omega = 22\pi f$; L_a 为天线电感; Q 为拟调整值 (此处为 30); R_a 天线电阻。

如图 3 所示, 在发送部分, 引脚 TX1 和 TX2 上发送的信号是由包络信号调制的 13.56 MHz 载波能量, 经过 $L0$ 和 $C0$ 组成的 EMC 滤波电路以及 $C1$ 、 $C2$ 、 R_q (其中 R_q 只在 Q 值太高的情况下需要) 组成的匹配电路, 就可直接用来驱动天线, TX1 和 TX2 上的信号可通过寄存器 TxSelReg 来设置, 系统默认为内部米勒脉冲编码后的调制信号。调制系数可以通过调整驱动器的阻抗 (通过设置寄存器 CWGsPReg、ModGsPReg、GsNReg 来实现) 来设置, 同样采用默认值即可。在接收部分, 使用 $R2$ 和 $C4$

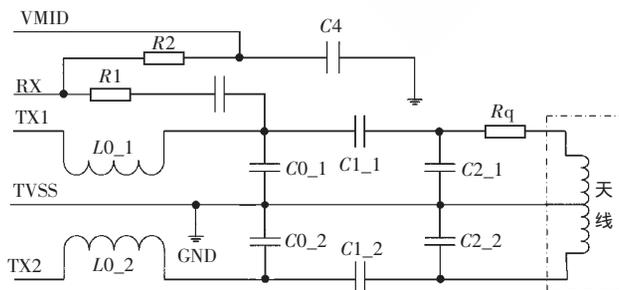


图 3 天线及其滤波匹配电路

以保证 R_x 引脚的直流输入电压保持在 VMID, $R1$ 和 $C3$ 的作用是调整 R_x 引脚的交流输入电压。

5 软件流程

系统初始化完成后, 就进入读卡器与卡片的应用操作准备阶段, 此期间要进行寻卡、防碰撞、选卡以及密码校验^[7], 密码校验通过后再根据应用操作代码进行相应的操作: 读卡片块数据、向卡片的某块写数据、充值扣款、数据备份、或是使卡进入停机状态。流程图如图 4 所示。

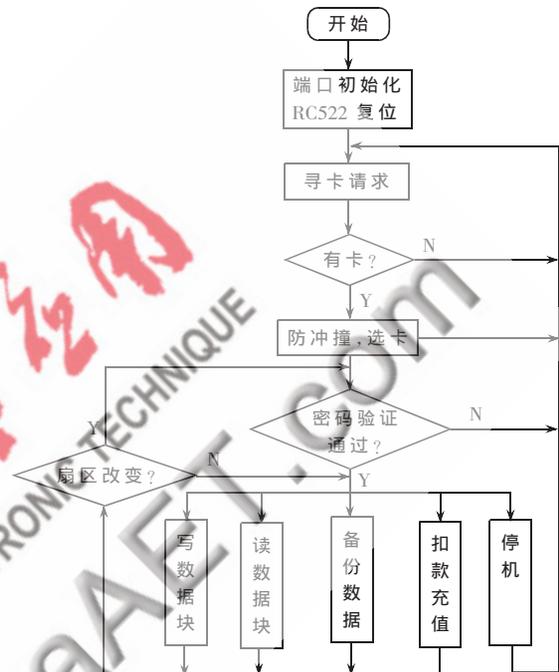


图 4 读卡器操作流程

参考文献

- [1] 纪震. 电子标签原理与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006.
- [2] NXP Inc. MFRC522 Contactless Reader IC product data sheet (Rev.3.2) [EB/OL]. 2007. <http://www.nxp.com>.
- [3] Texas Instruments Inc. MSP430x14x Mixed Signal Microcontroller [EB/OL]. 2004. <http://www.ti.com>.
- [4] NUMMELA J, UKKONEN L, SYDANHEIMO L, et al. 13.56 MHz RFID antenna for cell phone integrated reader [J]. Antennas and Propagation International Symposium 2007 IEEE, 2007(6):1088-1091.
- [5] NXP Inc. Directly Matched Antenna Design (Rev.2.05) [EB/OL]. 2006. <http://www.nxp.com>.
- [6] NXP Inc. Mifare ISO/IEC 14443 PICC Selection (Rev.1.0) [EB/OL]. 2006. <http://www.nxp.com>.

(收稿日期: 2010-03-16)

作者简介:

黄俊祥, 男, 1985 年生, 硕士研究生, 研究方向: 嵌入式系统及其应用。

陶维青, 男, 1964 年生, 副教授, 主要研究方向: 计算机控制技术, 电力系统及其自动化。

《微型机与应用》2010 年 第 29 卷 第 22 期