

# 基于 RFID 超低功耗射频标签的研究与实现

廖志鹏, 黄俊, 雷杏

(重庆邮电大学 信号与信息处理重庆市重点实验室, 重庆 400065)

**摘要:**提出了一种基于 2.4 GHz 主动式非接触射频识别(RFID)标签结构,并设计了标签的硬件电路及软件。在主动式标签设计中,采用了 MSP430F2122 单片机和 CYRF6936 射频芯片的超低功耗方案。该标签具有识别距离远,稳定性高,超低功耗和抗干扰能力强等特点,因此,该标签适用于各种条件复杂的恶劣环境,如煤矿井下生产、石油开采现场等复杂环境。

**关键词:**非接触射频识别(RFID);超低功耗;MSP430F2122;CYRF6936;煤矿井下生产

**中图分类号:**TN914.3 **文献标识码:**A

## Research and Implementation of Ultra-low Power Consumption RF Tag Based on RFID

LIAO Zhipeng, HUANG Jun, LEI Xing

(Chongqing Key Lab. of Signal and Information Processing (CqKLS&IP), Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** Active structure of RFID tag with the frequency of 2.4 GHz is put forward; the software and hardware circuit is designed as well. In the design, MSP430F2122 single-chip microcomputer and CYRF6936 RF chip are selected on the purpose of ultra-low power consumption. Long recognition distance, high stability, ultra-low power consumption and anti-jamming capability are the main superiority of the design, based on which the tag is available to different kinds of complex environments such as underground coal mining, oil exploitation and so on.

**Key words:** RFID; ultra-low power consumption; MSP430F2122; CYRF6936; underground coal mining

### 0 引言

随着我国经济的快速发展和对能源需求量的增加,使得我国大力发展能源开采行业,为了有效提高在能源开采方面的效率,对能源开采人员的管理与监控成为首要急需解决的问题之一。为了有效解决这一问题,采用目前国际上广泛应用的非接触射频识别(RFID)技术实现对能源开采人员的管理能有效提高能源开采的效率,用 RFID 技术来取代传统的人员管理模式已成为大力发展能源开采行业的主要解决手段。宏观上讲,一个典型的 RFID 系统一般由 RFID 标签、RFID 读卡器、上位机组成,其工作原理:射频标签进入磁场后,由标签主动将存储在芯片中的产品信息以某一频率的信息向外发送,读卡器在该频段读取标签信息并解码后,送至后端中央信息系统进行有关数据处理<sup>[1]</sup>。

RFID 技术是利用 RFID 标签来识别物体的新的识别技术,该技术的核心是 RFID 标签,这种标签根据无线射频识别原理而产生,它能通过无线射频信号与 RFID 读卡器进行数据交换,从而达到自动识别物体的目的。RFID 标签的使用寿命、数据传输的准确性、可靠性和实时性对 RFID 系统的性能具有重要的作用。因此,本文通过对 RFID 系统中的 RFID 标签进行分析研究,采用超低功耗单片机和射频芯片,设计了一种低功耗,穿透能力强,读取距离远,抗干扰能力强,成本低和使用寿命长等特点的主动式 RFID 标签。

### 1 标签设计方案

本文设计的主动式超低功耗 RFID 标签电路包括射频前端、天线、核心控制器、存储器和电源部分组成。其中射频前端主要负责标签数据的发送、接

收稿日期:2012-04-05

基金项目:信号与信息处理重庆市市级重点实验室建设基金资助项目(CSTC,2009CA2003)

作者简介:廖志鹏(1987-),男,重庆人,硕士生,主要从事通信信号处理、嵌入式技术及物联网关键技术的研究,E-mail:26420liao@163.com。黄俊(1971-),男,四川德阳人,教授,博士,主要从事物联网关键技术、光通信及光网络技术及通信网络测试技术等研究。

收。核心控制器执行标签通过射频前端接收到的指令,完成标签的正确识别。存储器存储标签 ID 号及相关标签信息。主动式 RFID 标签由内置电池给标签供电,如果标签的功耗过大,必然会造成标签使用寿命过短,不仅给用户带来麻烦,过快的更换电池在经济上也会造成不小的损失。

综合考虑目前主动式 RFID 标签存在的各种问题,本文设计的超低功耗 RFID 标签采用了低功耗的处理器芯片和射频芯片。超低功耗 RFID 标签结构如图 1 所示。

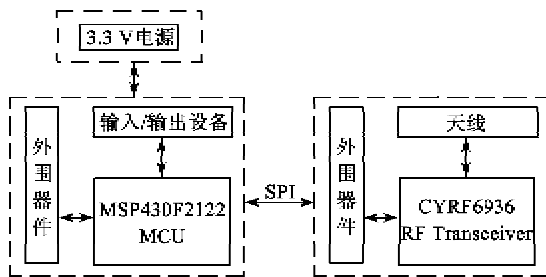


图 1 超低功耗 RFID 标签结构图

处理器芯片采用 TI 公司的 MSP430F2122 单片机。该款单片机片内组合了不同功能模块,可适应不同应用层次的需求。在硬件结构上,MSP430 是一款 16 位高性能超低功耗控制器,在电池供电的低功耗应用中具有独特的优势。其工作电压为 1.8~3.6 V,正常工作时功耗控制约为 200  $\mu$ A,低功耗模式可实现 2  $\mu$ A 甚至 0.1  $\mu$ A 的低功耗<sup>[2-3]</sup>。

射频前端采用美国 Cypress 公司的 CYRF6936 射频芯片。它工作在 2.4 GHz 的 ISM 频段,采用了直接序列扩频技术(DSSS)。DSSS 是直接利用具有高码率的扩频码序列,CYRF6936 将 2.4 GHz 的 ISM 频段,每隔 1 MHz 划分为一个通道,共 98 个通道,这使得 CYRF6936 能在全球无线市场畅通无阻<sup>[4]</sup>。CYRF6936 是业界体积最小,功耗最少,外围元件最少的低成本射频系统级芯片。

## 2 硬件电路设计

### 2.1 标签硬件结构

文中设计的 RFID 标签的电路主要包括控制单元、射频前端、电源单元。

在本次设计中采用了控制单元 MSP430F2122 单片机作为核心处理芯片,它的外部与 RF 单元连接,其中同 CYRF6936 的接口使用了 6 个 I/O 口,它们是输出口,片选信号(NSS)、输出口,通讯同步信号(SCLK)、主机输出,从机输入(MOSI)、主机输

入,从机输出(MISO)、中断响应(IRQ)、复位(RESET)。MSP430F2122 与 CYRF6936 的通讯采用 SPI 协议,其中 MSP430F2122 为主机,CYRF6936 为从机,由软件在控制单元上实现 SPI 通讯协议<sup>[5]</sup>。MSP430F2122 与外设的接口电路原理图如图 2 所示。

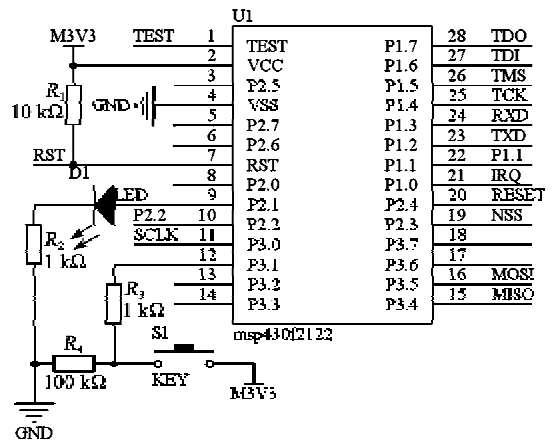


图 2 MSP430F2122 与外设的接口电路

在硬件电路设计中采用 LED 灯作为指示灯,在紧急情况下,用户按下 KEY 按键,LED 指示灯会亮并向外界发送求救信息。

本文设计的 RFID 标签为主动式有源标签,因此,标签需要一个 3.3 V 直流电源为其供电。考虑到标签小型化的设计,故使用 3.3 V 纽扣电池作为电源为标签供电。由于本文设计的 RFID 标签为超低功耗标签,在使用中应尽量减少电池的消耗,所以在电源单元的电路设计中加入了 MOS 开关管,减少标签不必要的电能损耗,延长标签使用寿命。电源单元电路如图 3 所示。

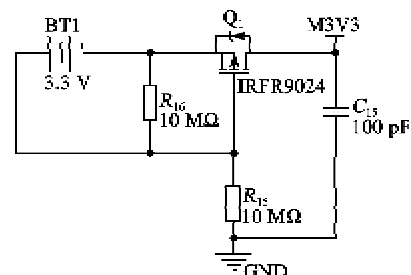


图 3 3.3 V 电源单元

### 2.2 射频前端电路设计

CYRF6936 具有收发模式、休眠模式及空闲模式 3 种工作模式。在收发模式下,其工作电流为 21 mA,最大发射功率为 +4 dBm,最大接收灵敏度为 -97 dBm。在休眠模式下,休眠电流小于 1  $\mu$ A。CYRF6936 通过连接外部晶振提供其工作时所需的

时钟,由于工作频段为 2.4 GHz,故采用 12 MHz 的晶振。CYRF6936 外围电路原理图如图 4 所示。

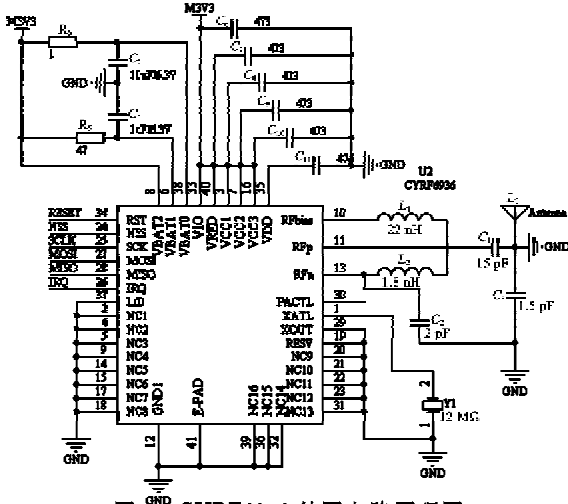


图 4 CYRF6936 外围电路原理图

CYRF6936 通过 SPI 口与控制单元进行连接,即 CYRF6936 的 27 脚和 28 脚连接到 MSP430 的 SPI 数据收发引脚 MOSI 和 MISO,在 MSP430 的 RST 引脚加串接一个 10 kΩ 的上拉电阻,提高其复位驱动能力。MSP430 在 SPI 模式下通过 MOSI、MISO 传输数据时,必须将 NSS 管脚电压拉低,数据传输结束后,NSS 管脚电压拉高。MSP430 的 P1.0 连接 CYRF6936 的 IRQ 脚,由于 P1.0 口具有中断功能,只有当数据准备好后,MSP430 退出中断服务程序,执行相应的数据收发通讯。

控制芯片 MSP430F2122 通过 SPI 接口控制射频芯片 CYRF6936,并配置射频芯片工作模式,即配置 CYRF6936 在不发送数据时,配置 PWR\_CTRL\_ADR 寄存器为 0xE0,使 CYRF6936 进入低功耗休眠模式,当进入发射状态时,单片机会将 CYRF6936 从休眠状态中唤醒,进入正常工作状态。

此外,CYRF6936 还需要外接天线才能进行数据的收发,天线的设计是关系到整个系统性能的重要因素。

文中设计了一个工作于 2.4 GHz 的 RFID 偶极子天线。偶极子天线一般由两端等长且粗细相同的直导线并排成一线构成。其中信号从中间端点馈入,从而会产生一定的电流分布,这种电流分布就在天线周围空间激发起电磁场。由麦克斯韦方程可得其辐射场方程:

$$E_{\theta} = \int_{-l}^l dE_{\theta} = \int_{-l}^l \frac{60\beta I_x}{\alpha} \cos(x\beta \cos \theta) \sin \theta dx \quad (1)$$

式中: $l$ 为单个振子臂的长度; $\beta$ 为相位常数; $I_x$ 为沿振子臂长分布的电流; $\alpha$ 为振子中点到观察点的距离; $\theta$ 为振子轴到 $\alpha$ 的夹角。同样的,还可以得到天线的输入阻抗,输入回波损耗,阻抗带宽,天线增益等参数。

天线采用铜材料,工作频率 2.4 GHz,其半波长长度约为 61 mm,偶极子天线臂宽约为 1 mm,天线输入阻抗约为 72 Ω,电压驻波比(VSWR)小于 2.0 时的阻抗带宽为 14.3%,天线增益为 1.8,对于大部分 RFID 应用系统,该偶极子天线可满足要求。

### 3 软件设计

由于我们主要研究的内容是 RFID 标签的低功耗设计,因此,标签的功耗是整个系统的重点研究问题,通过合理的程序设计,完成 RFID 标签应该具备的基本功能,并最大化的降低功耗。

RFID 标签主要采用主动式呼叫向读卡器发送 ID 信息,故在外围电路设计上加入了人机交互设计,即 LED 指示灯和 KEY 按键。在程序设计上规定单片机每隔 1.5 s 唤醒 CYRF6936 并向读卡器自动发送一次 ID 信息,发送完后即进入休眠状态。KEY 主要用于发送紧急寻求帮助信息,当用户按下 KEY 时标签即向读卡器发送紧急信息,同时点亮 LED 灯,松开 KEY 即停止发送紧急信息,同时熄灭 LED 灯,进入正常发送 ID 程序。图 5 为标签程序执行流程图。

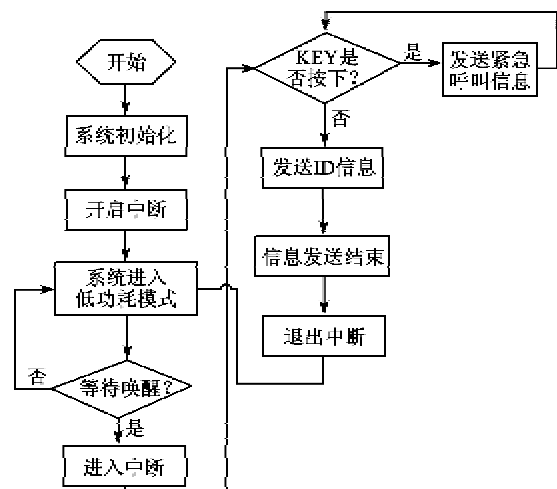


图 5 标签程序执行流程图

由图 5 可知,系统尽可能长时间停留在低功耗模式能有效降低系统功耗。因此,标签在发送完数据后能马上进入低功耗模式,这里我们采用 LPM3 低功耗模式,该模式下的工作电流低于 2 μA,并从

低功耗模式到工作模式的转换时间不超过  $6 \mu\text{s}$ 。标签发送数据采用定时中断方式,即当 MCU 初始化后标签立即 LPM3 模式,等待中断,定时器中断会唤醒 MCU 进入工作模式发送标签信息,发送完毕后,MCU 会马上进入 LPM3 低功耗模式<sup>[6]</sup>。

为了实现低功耗,标签使 MSP430 单片机在工作时处于激活模式,工作间隙则以低功耗模式进入休眠状态,从而有效的降低了标签的功耗。

#### 4 测试结果与性能分析

为了验证文中设计标签的超低功耗,在 3.3 V 电池正极端串入一个  $10 \Omega$  电阻,通过示波器测量该电阻两端的电压,如图 6 所示。

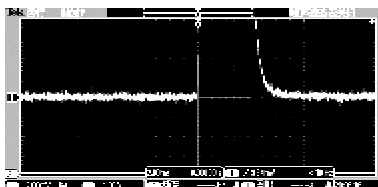


图 6 超低功耗 RFID 标签正常工作模式

由图 6 可知,标签工作在正常工作模式下时每 1.5 s 向读卡器完成一次 ID 信息发送,发送时长为 4 ms。发送完即进入 LPM3 低功耗模式。同时,标签在休眠模式下  $10 \Omega$  电阻两端电压约为 0.1 mV,故标签在休眠状态下的电流仅  $10 \mu\text{A}$ ,这样降低了标签的功耗,由此验证了本文设计的 RFID 标签的超低功耗特性。

#### 5 结束语

研究基于 RFID 的超低功耗射频标签,有机结合了 MSP430 单片机的控制技术,基于 RFID 可靠的无线通信技术。

文中设计的 RFID 标签完成一次 ID 信息发送周期仅需 1.5 s 左右,充分满足系统实时性的要求;射频前端采用 CYRF6936 芯片,该芯片具有较强抗干扰能力,适合环境参数多变且复杂的环境使用;该 RFID 标签具有超低功耗的特点,一方面能延长节点使用寿命,同时能有效降低系统成本。综上所述,超低功耗 RFID 设计合理,能有效完成在复杂环境下发送 ID 信息的功能,同时具备实时,低耗,抗干

扰,低成本等优势。

#### 参考文献:

- [1] 高瞻,胡向东. 基于 CORBA 的 RFID 仓储信息系统集成研究[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2010, 22(4): 464-467.  
GAO Zhang, HU Xiangdong. Research on integration of RFID warehouse information system based on CORBA[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications: Natural Science Edition, 2010, 22(4): 464-467.
- [2] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002.
- [3] 李彬,王朝阳,卜涛,等. 基于 MSP430F149 的最小系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2009, 28(12): 74-76.  
LI Bin, WANG Chaoyang, BU Tao, et al. The mini-system design based on MSP430F149 [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2009, 28(12): 74-76.
- [4] 王倩丽,王建. 基于 C8051F330 和 CYRF6936 无线收发器的设计与实现[J]. 陕西理工学院学报:自然科学版, 2009, 25(3): 27-33.  
WANG Qianli, WANG Jian. Implementation of radio transceiver based on C8051F330 and CYRF6936 [J]. Journal of Shanxi University of Technology: Natural Science Edition, 2009, 25(3): 27-33.
- [5] 戴国骏,葛海江,张翔. 基于 Cypress PRoC 的多通道无线收发器设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(5): 137-140.  
DAI Guojun, GE Haijiang, ZHANG Xiang. Design and implementation of multichannel wireless transmitter based on Cypress PRoC [J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(5): 137-140.
- [6] 郭晓玉,鲍慧,迟文广. MSP430 低功耗运行模式原理及应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2005(12): 63-66.  
GUO Xiaoyu, BAO Hui, CHI Wenguang. Principle and application of MSP430's low power consumption operation mode [J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2005(12): 63-66.