

基于 MSP430 的直接式胎压检测系统的设计*

胡亚东, 庄厝边, 谢德英, 陈弟虎
(中山大学 物理科学与工程技术学院, 广东 广州 510275)

摘要: 系统以高性能高速单片机 MSP430 微控制器和抗干扰能力强的压力测量芯片 SP12T 和无线射频收发芯片 NRF2401 为核心, 按照完成的功能系统分为发射系统和接收系统。根据系统的功能技术要求, 进行了发射系统和接收系统的硬件部分和软件部分的设计。发射系统主要进行压力、温度数据的采样, 进行滤波处理后送给发射单元发送出去。接收系统主要对接收到的数据进行处理, 然后在液晶面板上显示出来, 如果出现异常情况进行声光报警。该系统具有实时性、可靠性、实用性、应用方便等特点。

关键词: 轮胎压力; 数据采集; 无线传输

中图分类号: TP393.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) S1-0001-04

据美国汽车工程师学会统计, 美国每年有 26 万起交通事故是由于轮胎气压偏低或渗漏造成的。而在中国高速公路的交通事故中, 则有 70% 是因爆胎而引起。因此, 防止爆胎已成为安全驾驶的一个重要课题, 而确保标准胎压则是防止爆胎的关键。目前的汽车压力检测系统主要包括直接式和间接式。直接式系统通过安装在轮胎内部的传感器直接检测胎内压力和温度状态; 间接式则是通过安装在转轴上的传感器检测轮胎转动惯性进而推算出胎内的压力的。由于直接式检测不受温度影响, 因而比间接式系统检测更准确, 是目前的主流。直接式系统的核心是安装在轮胎内部的传感器模块, 它在电池供电下可以工作 3 ~ 5 年, 因此要求系统采用低功耗设计。另外, 由于是安装在轮胎内部, 对传感器尺寸、重量以及可靠性都有严格要求。本文给出了基于低功耗 MSP430 单片机、单片无线收发芯片 nRF2401 及多功能集成传感器芯片 SP12T 设计的一种用于检测汽车轮胎压力、温度状态检测的传感器系统。该系统的气压检测范围是 100 kPa ~ 500 kPa, 精度为 1.4 kPa; 温度检测范围是 -40 °C ~ +125 °C^[1-2]。

1 系统硬件设计方案

TPMS (Tire Pressure Monitoring System, 轮胎压力监测系统) 基本组成如图 1 所示。它以 MSP430F449 单片机为核心, 并包括三合一集成式传感器芯片 SP12T, 2.4 GHz 全双工无线通信收发

模块 nRF2401。其中 SP12T 可在单片机的控制下测量车胎的压力和温度值, 并以数字量形式输出, 再经过单片机 MCU 打包后通过 nRF2401 发射出去。同时, 单片机也通过 nRF2401 接收主机发来的指令, 完成相应的控制或参数配置任务。

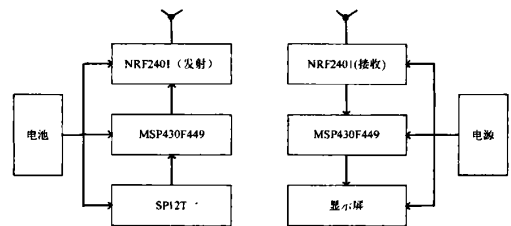


图 1 TPMS 基本组成图

Fig. 1 TPMS essential component chart

下面介绍一下本系统所采用的 3 款主要芯片: MSP430F449、SP12T 和 nRF2401。

1.1 MSP430F449

TPMS 技术难点主要包括: 电池技术、低能耗技术、无线通讯可靠性技术、智能报警技术。针对以上难点及基于 MSP430 的以下特点, 我们选择 MSP430F449 作为系统中的微处理器^[3]。

第一, 超低功耗。MSP430 单片机之所以有超低的功耗, 是因为其在降低芯片的电源电压及灵活而可控的运行时钟方面都有其独到之处。首先, MSP430 系列单片机的电源电压采用的是 1.8 ~

* 收稿日期: 2008-04-21

基金项目: 广东省科技计划资助项目 (2006B12401006); 珠海市科技计划资助项目 (PC20061002)

作者简介: 胡亚东 (1984 年生) 男, 硕士研究生; 通讯联系人: 陈弟虎; E-mail: stscdh@mail.sysu.edu.cn

3.6 V 电压。因而可使其在 1 MHz 的时钟条件下运行,工作时芯片的电流会在 200~400 μA 左右,时钟关断模式的最低功耗只有 0.1 μA 。其次,独特的时钟系统设计。在 MSP430 系列中有两个不同的系统时钟系统:基本时钟系统和锁频环 (FLL 和 FLL+) 时钟系统或 DCO 数字振荡器时钟系统。有的使用一个晶体振荡器 (32 768 Hz),有的使用两个晶体振荡器。由系统时钟系统产生 CPU 和各功能所需的时钟。并且这些时钟可以在指令的控制下,打开和关闭,从而实现对总体功耗的控制。再次,低功耗软件控制。由于系统运行时打开的功能模块不同,即采用不同的工作模式,芯片的功耗有着显著的不同。在系统中共有一种活动模式 (AM) 和五种低功耗模式 (LPM0-LPM4)。在等待方式下,耗电为 0.7 μA ,在节电方式下,最低可达 0.1 μA 。第二,强大的处理能力。MSP430 采用了精简指令集 (RISC) 结构,具有丰富的寻址方式 (7 种源操作数寻址、4 种目的操作数寻址)、简洁的 27 条内核指令以及大量的模拟指令。第三,灵活的中断结构。MSP430 的可编程中断结构可以组成灵活的片上和外部中断体系,以适应实时中断驱动系统的需要。

1.2 传感器 SP12T

压力传感器 SP12T 是一种压电阻传感器,用于在 50 kPa-1 400 kPa 范围内进行压力测量的压力传感器件。它具有一个数字串行通信口,可以方便的与单片机进行数据以及控制命令的传输。SP12T 工作时不需要其他的外部器件。SP12T 工作特性如下^[4]:

(1) 检测精度: SP12T 硅压阻式压力传感器是采用高精密半导体电阻应变片组成惠斯顿电桥作为压力电流变换测量电路的,测量精度可达 0.01% FS-0.03% FS。

(2) 测量可靠性: SP12T 具有补偿功能,可以对压力、加速度、温度、供电电压信号进行检测和补偿,准确提供不同型号轮胎在不同环境下的正确补偿值,有效地保证了测量可靠性。

(3) 功耗: 由于传感器电池不能更换,为了保证 TPMS 发射模块在一节锂电池下能工作 10 年,系统的低功耗节电是一个重要的课题,只有在大多数时间让系统进入睡眠状态,才能省电并延长电池寿命。SP12T 传感器具有 LF 唤醒瞬态工作模式,工作在睡眠模式时功耗仅 0.6 mA/s。

(4) 集成度: 英飞凌的 SP12T 是复合传感器,SP12T 不仅能够测量轮胎的压力和温度,还可以测量轮胎的加速度和电池电压,功能强大。

(5) 应用特点: 对 SP12T 传感器的访问有专用的传感器命令字符。SP12T 内部直接处理得到的数字量,只需要通过 SPI 物理接口向它发送对应的命令字和指令,就可以得到当前轮胎的压力、温度、加速度等值。

1.3 射频收发芯片 nRF2401

nRF2401 是单片射频收发芯片,工作于 2.4~2.5 GHz ISM 频段,芯片内置频率合成器、功率放大器、晶体振荡器和调制器等功能模块,输出功率和通信频道可通过程序进行配置。芯片能耗非常低,以 -5 dBm 的功率发射时,工作电流只有 10.5 mA,接收时工作电流只有 18 mA,多种低功耗工作模式,节能设计更方便。其 DuoCeiver™ 技术使 nRF2401 可以使用同一天线,同时接收两个不同频道的数据。nRF2401 适用于多种无线通信的场合,如无线数据传输系统、无线鼠标、遥控开锁、遥控玩具等。

2 部分电路原理图

TPMS 的电路图主要包括控制单元、RF 单元和 SP12T 单元^[5-7]。

2.1 MSP430F449

MCU 外部扩展了 2 个外设,其中同 nRF2401 的接口使用了 6 个 I/O 口,它们是 CS (输出口,片选信号)、CE (输出口,工作模式控制)、PWR_UP (输出口,休眠使能)、DATA (输入口,数据接收)、DR1 (输出口,数据发送)、CLK1 (输出口,通讯同步信号)。MCU 与 nRF2401 的通讯采用 SPI 协议,其中 MCU 为主机, nRF2401 为从机,通讯协议在 MCU 上由软件实现。MCU 与 SP12T 的接口使用了 6 个 I/O 口,它们是 NCS (输出口,片选信号)、SDO (输出口,数据输出)、SDI (输入口,数据输入)、SCK (输出口,通讯同步信号)、WAKEUP (时钟唤醒)、RESET (复位)。MCU 与 SP12T 的通讯协议也是 SPI,其中 MCU 为主机, SP12T 为从机,该通讯协议也在 MCU 上由软件实现。MCU 与外设的接口电路原理图如图 2 所示。

2.2 RF 单元

nRF2401 通过 SPI 口与 MSP430 单片机进行连接, nRF2401 只有一个 SPI 口 DATA,该引脚连接到 MSP430 的 SPI 数据收发引脚 SIMO0 和 SOMI0,430 的 SPI 需串接 10k 的电阻; DR1 为接收数据准备好引脚, nRF2401 将 DR1 置位,表示有数据到来,因而必须将 DR1 管脚电压拉低。DR1 连接 P1.2,由于 MSP430 的 P1 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

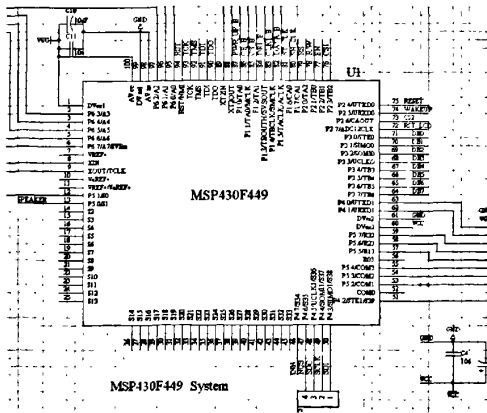


图 2 MSP430F449 与外设的接口电路

Fig. 2 MSP430F449 and peripherals interface circuit

行相应的数据收发通讯。

如图 3, nRF2401 通过 CE、CS 和 PWR_UP 三个管脚控制芯片的工作状态; nRF2401 具有四种工作模式, 即收发模式、配置模式、空闲模式和关机模式。例如; PWR_UP = 1, CE = 1, CS = 0, nRF2401 进入收发模式。nRF2401 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 16 MHz 的晶振; 此外, nRF2401 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。

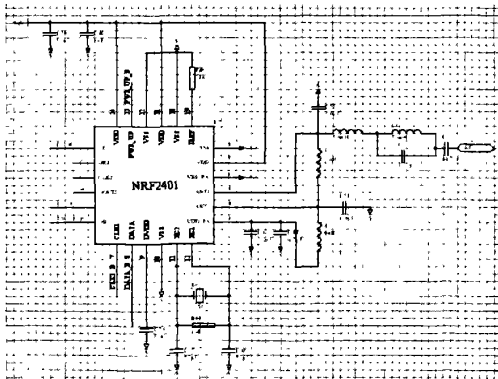


图 3 RF 单元

Fig. 3 RF module

2.3 SPI2T 单元

如图 4, SDO 是串行数据输出引脚, 连接 MSP430 USART0 的输入引脚 P4.5/SOMI1, 将测量得到的压力、温度、电压以及芯片 ID 传给 MSP430; SDI 是串行数据的输入引脚, 连接 USART1 的输出引脚 P4.6/SIMO1, MSP430 输出

SPI2T 的 8 位控制命令, 指定 SPI2T 进行相应的操作。SCLK 是串行同步时钟, 连接 MSP430 的串口时钟 UCLK1, 实现数据的同步串行通讯 SPI。

此外, SPI2T 提供了 WAKEUP 和 RESET 的两路输出, 每一路输出都可以在一定的时间间隔之后输出一个脉冲, 给 MSP430 提供中断或是唤醒信号^[8]。

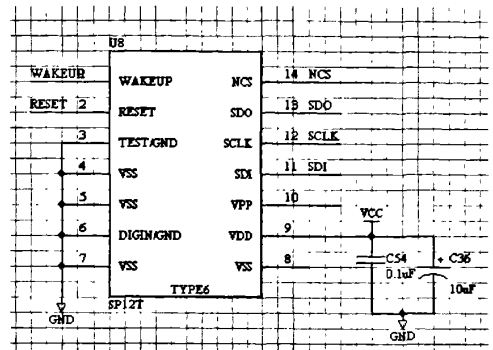


图 4 SPI2T 单元

Fig. 4 SPI2T module

3 TPMS 软件流程

图 5 给出了接收模块的接收程序流程图, 接通电源后, 接收机先后进行初始化和配置。一旦确认接收机配置完成, 所有的 LED 就闪烁一次告知使用者模块准备就绪。在收到一个数据帧后, 就要重新计算校验并与已经接收到的数据帧进行比较。数据帧经过确认后, 某个轮胎和 ID 则要与存储在 MSP430 存储器中的 4 个 ID 值比较。如果发现一个相配 ID, 则数据就被处理并点亮相应的 LED。最后, 数据帧通过串行口发送出去以供外部数据接收和存储。

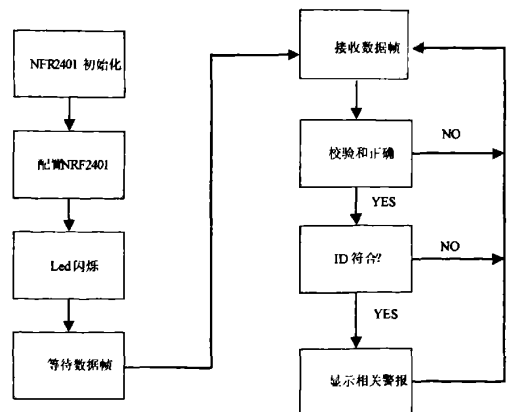


图 5 TPMS 接收软件流程图

Fig. 5 TPMS receive software flow chart

由于每个轮胎模块要发送相同格式的数据,接收机控制器能在收到全部数据帧后中断,这样它可以在大部分时间都处于低能耗睡眠状态。它还有许多节能选项,即使汽车停很长时间,也不会消耗一块电池。

4 结 论

本系统结构设计合理紧凑,成本低廉,具有轮胎气压过高预警功能、欠压预警功能、漏气预警功能和温升过快预警等功能,MSP430F449单片机提高了该系统的扩展性,具有一定的应用价值。监视模块可以工作在 $-40 \sim 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度范围, $0 \sim 450\text{ kPa}$ 的压力范围,采用FSK调制传输方式,数据传输稳定可靠,灵敏度优于 -100 dBm 。

参考文献:

- [1] 颜重光. 汽车轮胎压力监视系统的设计思考[EB/OL]. (2005-10-08). <http://www.tpms.com.cn/>.
- [2] 星科电子有限公司. 英飞凌汽车轮胎压力监测系统方案[C/OL]. (2005-06-27). <http://www.dianzinet.com/>.
- [3] MSP430F449 Mixed Signal Microcontroller. Texas Instruments Inc 2002[EB/OL]. <http://www.epcity.com/shtml/msp430F149.shtml>.
- [4] Intron Technology (China) Ltd. SP12 14 - PIN 数字式压力传感器[EB/OL]. <http://www.alldatasheet.com/2003>.
- [5] 汪凯. 英飞凌轮胎压力监测系统方案[J]. 汽车技术, 2002(7):1.
- [6] 沈俊峰. 汽车轮胎压力监测系统的设计[D]. 合肥:合肥工业大学,2006.
- [7] 郑启忠,朱宏辉,耿四军. 2.4GHz 射频收发芯片nRF2401 及其应用[J/OL]. (2007-03-30). <http://www.21ic.com/news/html/69/show1502.htm/>.
- [8] 李珊. 基于SP12的汽车轮胎状态监测系统的设计[J/OL]. 电子元器件应用,2007,9(3):42-45.

MSP430-based Direct Tire Pressure Monitoring System Design

HU Ya-dong, ZHUANG Cuo-bian, XIE De-ying, CHEN Di-hu

(School of Physics Science & Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The core of this system is composed of a high-speed MCU—MSP430, a SP12 with the ability of anti-pressure measurement, and wireless RF transceiver chips NRF2401, according to the complete function the system is divided into emitter module unit and receive module unit. Under the requirement of the technical function, hardware and software of emitter module unit and receiver module unit is designed. The emitter module unit mainly samplings the pressure, temperature data then sends them out by emitter unit after filtering. The receive module unit mainly disposes the data received and then displays on panel, it would alarm when the data is abnormal. This system is provided with some characters, such as real time, reliability, practicability and conveniency appliance.

Key words: tire pressure; data gathering; wireless communication