

文章编号:1000-582X(2008)01-0008-05

# 直接式汽车轮胎压力监测系统设计

陶桂宝, 庞 丽

(重庆大学 机械工程学院, 重庆 400030)

**摘 要:**针对直接式汽车轮胎压力监测系统(Tire Pressure Monitoring System, TPMS)存在的关  
键技术问题,设计了基于 SP12 传感器、无线发射芯片 TDK5100F 的直接式汽车轮胎压力监测系统。  
系统由 4 个轮胎检测模块、1 个中央接收模块以及 1 个显示模块组成。轮胎检测模块采用气门嘴外  
置式安装方式,通过轮胎检测模块连接到显示模块上进行设置来实现轮胎检测模块的定位。系统  
安装方便,便于更换电池,且成本较低,可以作为独立的装置安装在汽车上,还可通过车载网络接口  
和其它模块通信。

**关键词:**TPMS; 轮胎压力; 监测系统; 汽车; 传感器

中图分类号:U463

文献标志码:A

## Design of Pressure-sensor Based Tire Pressure Monitoring System

TAO Gui-bao, PANG Li

(Department of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

**Abstract:** After introducing some key technologies of TPMS, a TPMS based on sensor SP12 and transmitter TDK5100F was designed to solve the problems in current TPMS. A reliable, convenient and low cost location method was adopted to locate the tire-monitoring module easily. The installation of TPMS with tire valve outside is convenient to replace batteries. The TPMS can be installed in vehicles as an independent module, and can use its vehicle network interface to communicate with other modules.

**Key words:** TPMS; Tire Pressure; Monitoring System; Vehicle; Sensor

轮胎压力将直接影响汽车行驶安全,还将影响车辆的油耗和轮胎的寿命<sup>[1]</sup>。电子技术在汽车上的应用提高了汽车的安全性,除了人们所熟知的安全气囊、防抱死制动系统(Antilock Braking System, ABS)、牵引力控制系统(Traction Control System, TCS)、雷达防撞系统等以外,汽车轮胎压力监测系统(Tire Pressure Monitoring System, TPMS)是新兴的另一种汽车安全系统。汽车轮胎压力监测系统是一种有效的防止爆胎装置,它通过轮胎压力、温度的监测来确定轮胎是否异常,当轮胎异常时向司机报警来保障行车安全。

2000 年,美国因轮胎质量问题引发重大交通事故而出台强制性安装 TPMS 的法令。2005 年 4 月 8 日,美国国家高速公路安全管理局(NHTSA)又提出了汽车生产商的执行时间表,要求到 2005 年 10 月 5 日、2006 年 9 月 1 日、2007 年 9 月 1 日,新出厂的毛重在 10 000 磅以下的轻型汽车的 TPMS 配置率分别为 20%、70% 和 100%<sup>[2]</sup>。TPMS 装置在发达国家已经得到了普遍的认可和较大范围的应用,在国内也得到了一定的发展。国内 TPMS 厂家大多采用国外的 TPMS 技术来开发产品,缺乏核心技术,国内厂家正努力提高自己的研发水平。目前由于国内还

收稿日期:2007-09-19

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2006BAF01A27)

作者简介:陶桂宝(1967-),男,重庆大学博士,副教授。主要从事机电一体化技术、汽车电子、车间集成控制管理、网络化制造、机床设计和数控加工等方向的研究,(E-mail)gb\_tao@163.com。

没有强制性安装 TPMS 装置的法规, TPMS 市场较小, 并且 TPMS 行业还没有一个统一的国家标准。TPMS 法规的出台以及国家标准的制定将会大大加速国内 TPMS 的发展。

目前 TPMS 主要分为直接式 (Pressure-Sensor Based) 和间接式 (Wheel-Speed Based) 两类。间接式 TPMS 借助防抱死制动系统的轮速传感器来判断胎压的异常<sup>[3]</sup>, 而直接式 TPMS 依靠安装在轮胎上的传感器来直接测量轮胎的压力和温度, 并通过无线高频通信链路将检测数据传送给安装在车身的中央接收模块。直接式 TPMS 相对于间接式 TPMS 虽然成本较高、开发时间较长, 却有很多优越之处: 1) 准确率高, 能得到所有轮胎的压力和温度数据; 2) 能够确定故障轮胎; 3) 检测精度高。直接式 TPMS 是非常有效的汽车轮胎压力监测系统, 已成为轮胎气压监测系统的主流。

## 1 TPMS 的关键技术及存在的问题

### 1.1 TPMS 关键技术

#### 1.1.1 可靠性

TPMS 是一种行车安全系统, 系统可靠工作才能保障行车的安全。要保证 TPMS 可靠工作, 首先所有元器件要可靠, 特别是用于轮胎检测模块的所有器件, 其使用温度必须达到  $-40 \sim 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。一些半导体厂商积极研发高性能的 TPMS 芯片, 如专用的传感器芯片以及集成 MCU、传感器和无线射频发射芯片的复合芯片来提高 TPMS 的可靠性。其次, 信号无线传输和接收要可靠, 这表现在系统具有抵抗其它电子设备干扰的能力、汽车高速行驶时中央模块接收轮胎模块信号的能力、信号免碰撞的能力以及系统避免误报警的能力。

#### 1.1.2 电源

由于中央接收模块安装在车身, 可由汽车电源供电, 而轮胎检测模块安装在轮胎上, 就要利用其它方法供电。直接式 TPMS 主要采用钮扣电池供电, 电池能量有限, 如何实现轮胎检测模块的低功耗, 延长电池使用寿命是当前研究的一个热点。目前主要通过选用低功耗的芯片、大容量的电池、唤醒技术以及一些智能低功耗算法实现系统的低功耗, 除此之外, 人们正在努力研究无源的 TPMS 技术<sup>[4]</sup>。

#### 1.1.3 轮胎检测模块的定位

汽车行驶一段时间后, 由于各个轮胎的负荷不均, 导致磨损位置和程度不一, 为了延长轮胎的使用寿命, 需要进行轮胎的置换保养。轮胎的置换保养导致安装在轮胎上的检测模块也随之换位, 从而导

致以前的对应关系被打破, 这就要求对轮胎检测模块重新定位, 另外当更换新的检测模块时, 也需要进行模块的定位, 定位功能是直接式 TPMS 必须具备的功能。目前国内外主要采用定编码形式、界面输入式、低频唤醒式、天线接收近发射场式和外置编码存储器式<sup>[5]</sup>等轮胎定位技术实现 TPMS 的定位功能。

#### 1.1.4 轮胎检测模块的安装

目前 TPMS 轮胎检测模块有 3 种安装方式, 气门嘴内置式、利用紧箍扣安装在轮毂上方式以及气门嘴外置式 (见图 1)。前两种安装方式是将检测模块安装在轮胎里, 后一种是将模块安装在轮胎外的气门嘴上。虽然现在国外已经有整套的人工或全自动的气门嘴内置 TPMS 安装工具, 但这种安装方式还是不利于司机操作, 当轮胎检测模块或者电池需要更换时, 司机需要到专门的地方、利用专用工具进行操作。利用紧箍扣安装在轮毂上的安装方式要求轮胎检测模块安装牢固, 因为汽车行驶时的剧烈振动可能会导致检测模块移位。气门嘴外置安装方式装卸简单, 而且容易实现轮胎检测模块的定位和电池更换, 但其要解决的问题是 TPMS 的防盗。



(a) 气门嘴内置式 (b) 利用紧箍扣安装在轮毂上方式 (c) 气门嘴外置式

图 1 轮胎检测模块的安装方式

### 1.2 存在的问题

1) 可靠性有待提高, 特别是高速行驶时信号传输和接收的稳定性。

2) 大多采用气门嘴内置和利用紧箍扣安装在轮毂上两种安装方式, 安装复杂, 且不利于更换电池。

3) 现有的轮胎检测模块定位方法各有所长, 寻求兼顾成本、可靠性以及操作简便的方法是其发展的方向。

4) 国内产品通常没有车载网络接口, 车载网络是汽车的发展趋势之一, 研究具有车载网络接口的 TPMS 适应了汽车的发展趋势。

## 2 直接式汽车轮胎压力监测系统总体方案设计

目前, 直接式 TPMS 方案主要有单向通信和双向通信两种。单向通信成本低, 其重点解决的是轮胎检测模块的定位和信号免碰撞设计; 双向通信主

要有两种,高频-低频通信和双向高频通信。高频-低频通信为系统增加了 1 条低频<sup>[6]</sup>(一般为 125 kHz)通信链路,中央接收模块便通过此链路向轮胎检测模块发送低频信号,而检测模块通过高频链路发射数据,此系统可以实现轮胎检测模块的自动定位以及信号的免碰撞功能,但这种系统是通过向中央接收模块加入 4 个低频触发器以及向轮胎检测模块分别加入 1 个低频接收器实现的,成本较高,而且需将 4 个低频触发器安装在轮胎附近,安装复杂。双向高频通信是通过向系统增加 1 组射频发射芯片和射频接收芯片或者采用无线收发芯片实现的。笔者曾用无线收发芯片实现双向通信,但系统功耗大,成本较高。经过方案比较,选用单向通信方式进行直接式汽车轮胎压力监测系统的设计。

### 2.1 系统总体结构

系统总体结构框图见图 2 所示,系统由 4 个轮胎检测模块、1 个中央接收模块以及 1 个显示模块组成。4 个轮胎检测模块分别安装在汽车的 4 个轮胎上,安装方式采用气门嘴外置式,并采用钮扣电池供电。轮胎检测模块通过智能传感器检测轮胎的压力、温度、加速度和电池电压值,并通过无线射频发射芯片同安装在车身的中央接收模块进行通信。中央接收模块和显示模块均由汽车电源供电,它们之间有两种通信方式,当 TPMS 作为独立的装置时,2 个模块通过串口通信,当 TPMS 作为车载网络的 1 个节点时,2 个模块通过 CAN 总线通信。

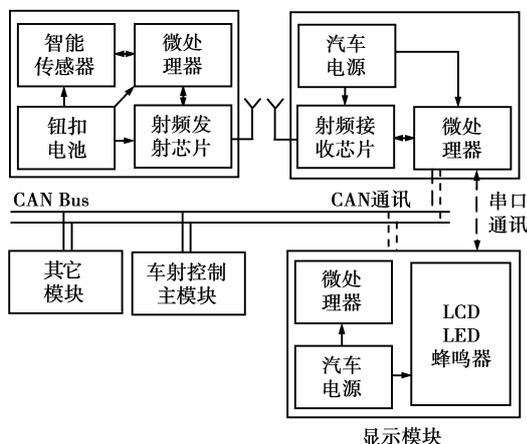


图 2 系统总体结构框图

### 2.2 芯片选型

传感器、MCU 以及无线射频收发电路集成为复合芯片是 TPMS 的发展趋势之一,复合芯片有助于提高系统可靠性、降低功耗、减小体积、降低成本、简化设计、缩短开发时间。考虑到开发资源、成本以及设计的灵活性,选用独立的芯片来开发本系统。

#### 2.2.1 传感器

传感器选用英飞凌公司的 SP12<sup>[7]</sup> 多功能传感器,其测量性能见表 1。SP12 是一种压电阻传感器,集成了压力、温度、加速度和电压传感器以及 ASIC 数字信号处理单元,并具有与微处理器通信的串行外围接口(Serial Peripheral Interface, SPI)。

表 1 SP12 传感器测量性能表

	压力 /kPa	温度/°C	加速度/g	电压/V
测量范围	100 ~ 450	-40 ~ 125	-12 ~ 115	1.8 ~ 3.6
测量精度	1.37	1	0.5	0.018 4

#### 2.2.2 无线收发芯片

选用英飞凌公司的 TDK5100F<sup>[8]</sup> 发射芯片和 TDA5210 接收芯片实现轮胎检测模块和中央接收模块的通信。TDK5100F 芯片工作在 433 ~ 435 MHz ISM 频段,具有 FSK 和 ASK 调制能力,典型功率为 +5 dbm,仅需外接少量元件,工作温度为 -40 ~ +125 °C,具有低功耗模式。

#### 2.2.3 MCU

轮胎检测模块选用 ATMEL 的 AVR ATmega48 automotive<sup>[9]</sup> 单片机作为 MCU,中央接收模块和显示模块均选用 ATmega162 作为 MCU。ATmega48 automotive 是 ATMEL 公司近来推出的汽车级 MCU,工作温度为 -40 ~ +125 °C,满足 TPMS 轮胎检测模块的工作温度要求。AVR 具有 FLASH 存储器,可以通过在线编程技术(In-System Programming, ISP)轻松实现新产品开发、老产品的升级和维护。

### 2.3 轮胎检测模块定位功能设计

系统轮胎检测模块定位功能设计的出发点是采用可靠的、便捷的、低成本的轮胎检测模块定位技术。定位功能设计要考虑两种情况:一是轮胎置换保养时的定位;二是当更换 1 个或同时更换 2 个及以上轮胎检测模块时的定位。轮胎置换保养时的定位非常容易实现,由于 TPMS 轮胎检测模块采用气门嘴外置式安装方式,当轮胎更换位置时,将模块从轮胎气门嘴卸下重新安装到原来的位置即可,而当模块损坏需要更换时,则通过将轮胎检测模块直接在显示模块上进行位置设置来实现,其具体步骤是:1)将新的轮胎检测模块旋入显示模块的串口;2)通过显示模块上的按键选择要安装的位置,并按下确定键,显示模块便把此位置信息通过串口存储到轮胎检测模块中,同时轮胎检测模块将自身的传感器 ID 码传送到显示模块;3)旋出轮胎检测模块并安装到相应的位置。显示模块通过串口发送给轮胎检测模块的位置信息为简单的二元编码 00、01、10 和 11,

它们分别代表一个轮胎位置。这种有线的设置方式可靠性高,避免了无线方式的干扰问题,而且操作简便,成本低,不需其它附加器件。

### 2.4 系统低功耗设计

系统利用唤醒和加速度传感器相结合的方法实现低功耗。由于汽车大部分时间处于静止状态,让系统进入休眠模式可以极大地延长电池使用寿命。轮胎检测模块从休眠模式转为工作模式可以通过传感器 SP12 的 wakeup 信号实现,该信号每 6 s 向 MCU 发送低电平信号唤醒 TPMS 工作。TPMS 根据传感器检测的离心加速度值( $a = w^2r$ ,其中  $w$  为车轮角速度, $r$  为轮胎检测模块距离轮轴的距离)可以推知汽车的行驶状态,并将汽车状态分为 3 种,静止状态(包括启动未行驶)、低速行驶状态和高速行驶状态。对应 3 种汽车状态,TPMS 有 3 种工作模式,休眠模式、低速工作模式和高速工作模式。当检测的离心加速度为 0 时,表明汽车处于静止状态,则 TPMS 转入休眠模式;当加速度小于设定的阈值时,汽车处于低速行驶状态,TPMS 转入低速工作模式,并以较长的时间间隔检测轮胎压力、温度和电池电压;当加速度大于设定的阈值时,汽车处于高速行驶状态,TPMS 转入高速工作模式,以较短的时间间隔检测。

无线射频发射芯片是轮胎检测模块耗电量最大的器件,减小其发射频率可以大大降低功耗。系统在轮胎检测模块检测完轮胎数据后就对这些数据进行处理,判断轮胎是否出现故障,如果出现则马上发射数据,通知中央显示模块报警,如果没有出现故障,则计算每组数据的平均值并发送给中央显示模块显示,这样可以极大地降低系统功耗。

## 3 系统硬件实现

轮胎检测模块的硬件设计,包括传感器模块和无线通信模块的电路设计。轮胎检测模块电路图见图 3,传感器 SP12 与 AVR ATmega48 单片机通过 SPI 接口进行数据通信,单片机的 SPI 接口设置为主机工作方式,传感器设置为从机,同步数据传送时钟信号由主机单片机 SCK 引脚提供,SP12 的 wakeup 信号向单片机提供外部中断,定时唤醒单片机工作。

单片机和无线发射芯片 TDK5100F 通过串口实现数据的通讯。单片机 PD4 引脚连接 ASKDTA,当 ASKDTA 为高电平时接通发射芯片的功率放大器。引脚 PD5 连接 PDWN,实现发射芯片的节能控制,PDWN = 0 时为低功耗模式,PDWN = 1 时为工作模式。

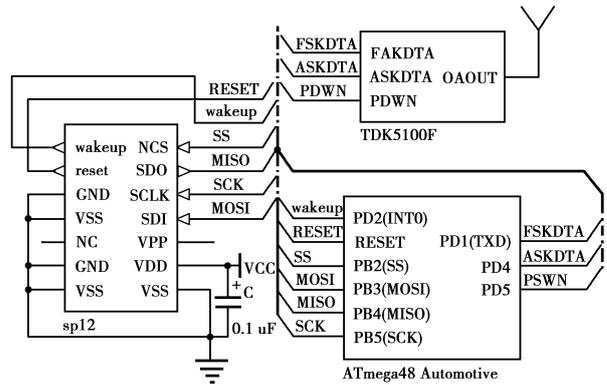


图3 轮胎检测模块电路图

## 4 系统软件设计

### 4.1 无线通讯协议

无线通信工作频段为 434 MHz,FSK 信号调制方式,发射波特率为 9 600 bps,发射的数据帧格式见表 2。在第 8 个发射数据帧中,利用其中两位数据来表示检测模块的位置信息。虽然发射数据中包含轮胎检测模块的位置信息,但为了提高系统可靠性,还需传送传感器的 ID 码,防止接收到其它汽车的轮胎检测模块信号。SP12 传感器的 ID 码为 24 位,只传送低 8 位 ID 码。

表2 数据帧格式

起始位	传感器 ID	压力	温度	电压	加速度	位置信息	轮胎状态	校验值	停止位
16	8	8	8	8	8	2	6	8	8

### 4.2 模块工作流程

图 4 为轮胎检测模块工作流程图。轮胎检测模块上电复位后,便进入休眠状态,每隔 6 s 由 SP12 的 wakeup 信号唤醒,轮胎检测模块被唤醒后便检测一

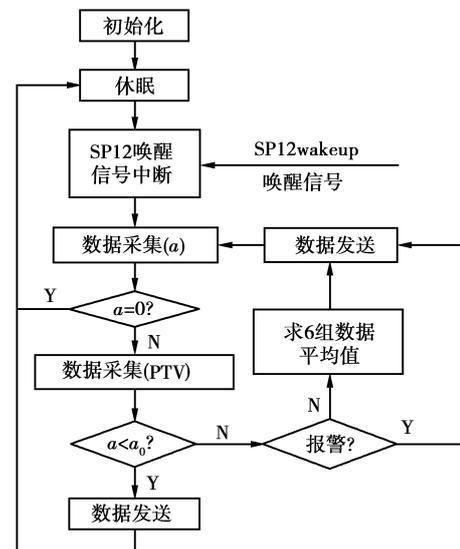


图4 轮胎检测模块工作流程图

次加速度值,判断汽车行驶状态。静止状态则重新休眠;低速状态则检测一次轮胎数据并发射;高速状态则每隔 1 s 检测一次,并判断轮胎是否出现故障,出现故障则发射数据,没有出现故障则每 6 s 发射一次数据(6 次检测数据的平均值)。

## 5 结 论

直接式 TPMS 要求可靠性高、功耗低,而且能够实现轮胎检测模块的方便定位和安装。文中重点研究了可靠的、便捷的、低成本的轮胎检测模块定位方法,该方法是将轮胎检测模块通过串口直接在显示模块上进行位置信息设置实现的,将无线定位变为有线定位,可以很好避免无线方式的干扰问题,可靠性高,而且操作十分简便,成本低,不需要向系统添加其它模块,比如低频通信模块。基于上述轮胎检测模块定位方法和低功耗要求设计了基于 SP12 传感器、无线发射芯片 TDK5100F 的直接式汽车轮胎压力监测系统。系统采用了气门嘴外置式安装方式,方便安装和更换电池,更加延长系统使用寿命。另外,系统具有 CAN 接口,这种设计适应了未来汽车车载网络发展的趋势,又满足了当前没有车载网络汽车的需求。

### 参考文献:

- [1] 米林,陈然,谭伟. 嵌入式轮胎压力无线监测系统的设计[J]. 仪器仪表用户,2006,13(1):24-25.  
MI LIN, CHEN RAN, TAN WEI. The design of Tire Pressure Monitoring System based on embedded system[J]. Electronic Instrumentation Customer, 2006,13(1):24-25.
- [2] National Highway Traffic Safety Administration. Federal Motor Vehicle Safety Standards; Tire Pressure Monitoring Systems; Controls and Displays [J]. Federal Register, 2005,70(67):18136-18191.

- [3] 王泽鹏,薛风先,朱由锋. 智能轮胎监测技术的发展现状及需解决的关键问题[J]. 汽车技术,2005(2):1-5.  
WANG ZE-PENG, XUE FENG-XIAN, ZHU YOU-FENG. State-of-the-Art and Key Problems of Intelligent Tire Monitoring Technology[J]. Automobile Technology, 2005(2):1-5.
- [4] 李威,尹术飞. TPMS 的无源化发展方向研究[J]. 重型汽车, 2005(5):14-16.  
LI WEI, YIN SHU-FEI. Research on passive TPMS developing trend[J]. Heavy Truck, 2005(5):14-16.
- [5] 陆叶强. 汽车胎压检测系统中轮胎定位技术的分析与研究[J]. 农机化研究,2006(7):205-207.  
LU YE-QIANG. Analysis on Automobile Tyre Fixation in the Automobile Tyre Pressure Check System[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(7):205-207.
- [6] 颜重光. TPMS 的设计方案思考[J]. 电子质量,2005(7):1-4.  
YAN CHONG-GUNG. The Consideration on the TPMS Design Project[J]. Electronics Quality, 2005(7):1-4.
- [7] 曹呈荣,方赵林,余世明. 高集成轮胎压力传感器 SP12 分析及其应用[J]. 自动化与仪器仪表,2006(2):42-44.  
CAO CHENG-RONG, FANG ZHAO-LIN, YU SHI-MING. The application of high-integrated tire pressure sensor SP12 [J]. Automation & Instrumentation, 2006(2):42-44.
- [8] 龚淑君,金向东. 轮胎压力测量的低功耗实现[J]. 杭州电子科技大学学报,2006,26(5):62-66.  
GONG SHU-JUN, JIN XIANG-DONG. Realization with Low Power Consumption of Tyre Pressure Measurement[J]. Journal of Hangzhou Institute of Electronic Engineering, 2006,26(5):62-66.
- [9] ATMEL. ATmega48 automotive [EB/OL]. [http://www.atmel.com/dyn/products/product\\_card.asp?family\\_id=07&family\\_name=AVR+8%2DBit+RISC+%&part\\_id=3756](http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?family_id=07&family_name=AVR+8%2DBit+RISC+%&part_id=3756). 2006-09/2007-01-13.

(编辑 陈移峰)

(上接第 7 页)

### 参考文献:

- [1] PODRA P, ANDERSSON S. Finite element analysis wear simulation of a conical spinning contact considering surface topography [J]. Wear, 1999,224:13-21.
- [2] 阳培,王长路. 用啮合原理和数值方法求蜗轮副接触线[J]. 机械传动,2004,28(1):4-6.  
YANG PEI, WANG CHANG-LU. Resolve the worm pair contact line by tooth theory and numerical method [J]. Journal of Mechanical Transmission,2004,28(1):4-6.
- [3] FLODIN A, ANDERSSON S. A simplified model for wear

- prediction in helical gears[J]. Wear,2001,249:285-292.
- [4] FLODIN A, ANDERSSON S. Simulation of mild wear in spur gears[J]. Wear, 1997,207:16-23.
- [5] 吴序堂. 齿轮啮合原理[M]. 西安:西安交通大学出版社,1982.
- [6] 温诗铸. 摩擦学原理[M]. 北京:清华大学出版社,1990.
- [7] 戚文正. 蜗轮蜗杆油胶合承载能力试验研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2001.

(编辑 侯 湘)