

# 基于无线传感器和 CAN 总线的 直接式轮胎压力监测系统\*

冷毅<sup>1,2</sup>, 李青侠<sup>1,4</sup>, 刘胜<sup>3,4</sup>, 董天临<sup>1</sup>

(1 华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074;

2 空军雷达学院电子对抗系 武汉 430019;

3 华中科技大学微系统研究中心 武汉 430074;

4 飞恩微电子有限公司 上海 201203)

**摘要:** 轮胎压力是影响轮胎性能的重要参数。轿车在轮胎压力不足或者过高的状况下行使,不但导致轮胎过热和影响轿车的操纵,增加了爆胎的可能性,而且降低轮胎的寿命和燃油效率。轮胎压力监测系统通过监测轮胎内部的压力、温度和车轮运动状态,使得在一个或者多个轮胎出现压力异常时能够自动地向驾驶员发出警告。本文设计了一种基于无线传感器和 CAN 总线的直接式轮胎压力监测系统,包括:总体方案、硬件设计、软件设计、抗干扰设计。经大量的实验室台架实验和实况路面车载测试表明:该系统总线通信无误帧,无线信号传输可靠,轮胎内部监测准确及时。

**关键词:** 无线传感器; CAN 总线; 胎压监测; 测试

**中图分类号:** U471.24 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.40

## Direct tire pressure monitoring system based on wireless sensor and CAN bus

Leng Yi<sup>1,2</sup>, Li Qingxia<sup>1,4</sup>, Liu Sheng<sup>3,4</sup>, Dong Tianlin<sup>1</sup>

(1 Department of Electronics and Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2 Department of Electronic Countermeasures, AFRA, Wuhan 430019, China;

3 Institute of Microsystems, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

4 FineMEMS Inc., Shanghai 201203, China)

**Abstract:** Tire pressure is a very important parameter that affects tire performance in real driving conditions. Driving on a significantly under-inflated or over-inflated tire not only causes the tire overheating and may affect vehicle handling and increases the likelihood of tire blowout, but also reduces fuel efficiency and tire tread life. Thus it is necessary to equip a car with a tire pressure monitoring system that illuminates the tire pressure telltale when one or more of the car tires are significantly abnormal. A direct passenger car tire pressure monitoring system (TPMS) is designed in this paper. Based on wireless sensor and control area network (CAN) bus, the overall control scheme, hardware design, software design, and anti-interference design of the system are presented. The bench test in the lab and the vehicle-carrying test show that the CAN bus communication is stable, the wireless communication is reliable, and the TPMS is capable of providing an adequate and timely warning to the driver.

**Key words:** wireless sensor; CAN bus; tire pressure monitoring; test

## 1 引言

据美国汽车工程师协会(Society of Automotive Engineers; SAE)的调查统计表明,美国每年有26万起交通事故是由于轮胎故障造成的,而75%的轮胎故障是由于轮胎压力不足或渗漏引起的<sup>[1]</sup>。如果轮胎发生慢速漏气、压力不足及压力过高,轮胎与地面接触面积发生变化,在长时间行驶、高速行驶等情况下增加了爆胎的可能性<sup>[2,3]</sup>。由于每年造成的人员伤亡和经济损失巨大,美国政府要求汽车制造商加速发展轮胎压力监测设备,以求减少轮胎事故的发生。2000年11月美国总统克林顿签署批准了国会关于修改联邦运输法的提案,要求2003年后所有出厂的轻型车辆(毛重在4 500 kg以下)都需把这种系统作为标准配置。

早期的TPMS为间接式汽车轮胎压力监测系统(Indirect TPMS),它是通过汽车ABS系统的轮速传感器来比较车轮之间的转速差别,以达到间接监视胎压的目的。该类型系统的主要缺点是无法对2个以上的轮胎压力同时不足的状况和速度超过100 km/h的情况进行判断。目前的TPMS多数是直接式汽车轮胎压力监测系统(Direct TPMS),它是利用安装在轮胎内部的压力传感器来直接测量轮胎的压力、温度和车轮运动状态,并通过无线发射到安装在驾驶室接收装置,驾驶者可以直观地了解各个轮胎的压力状况。相比之下,直接式TPMS无论从功能和性能上均优于间接式TPMS,目前市场主流是直接式TPMS。

为提高各系统的协调性,优化汽车整体性能,节约成本,增加汽车的舒适、方便、安全性,就必须建立汽车的高速局域通信网络。控制器局域网(controller area network: CAN)总线是德国Bosch公司在20世纪80年代初为解决现代汽车中众多的控制与测试仪器的数据交换而开发的一种串行数据总线,是一种多主总线系统,其适用的通信速率可高达1 Mbps<sup>[4]</sup>。

作为汽车电子控制系统的一部分,TPMS如果能够接收其他的信息,譬如环境温度、海拔等信息,则会使TPMS性能进一步提高。将TPMS接入到高速CAN总线通信网络,提高了TPMS和其他电子控制系统的协调性,优化TPMS整体性能,节约成本,增加舒适、安全性等。

此外,TPMS需要具备无线传感器位置识别功能,以便在TPMS初始安装、轮胎换位以及轮胎更换后都能识别轮胎无线传感器的位置。

本文针对胎压监测应用,提出了基于无线传感器和CAN总线的直接式轮胎压力监测系统的设计方案及低成本的无线传感器位置识别的方法,并给出了台架测试及路测结果。

## 2 胎压监测系统的总体方案

图1为TPMS系统结构图<sup>[5]</sup>,主要包括无线传感器、

TPMS接收机、传感器ID(identification)学习仪器以及辅助显示轮胎信息的仪表TPMS显示区。

安装在轮毂上的无线传感器检测轮胎内部的压力、温度及运动状态,通过无线方式把信号发送给TPMS接收机;TPMS接收机置于驾驶室仪表板下方,接收和处理无线信号,把处理后的信号通过CAN总线送往ICM(instrument control module)仪表显示,并和BCM(body control module)车身控制模块等总线节点进行信息交互;传感器ID学习仪器收集传感器的ID身份信息,通过OBD-II诊断座和汽车CAN总线网络进行通信,把ID信息发送给TPMS接收机。

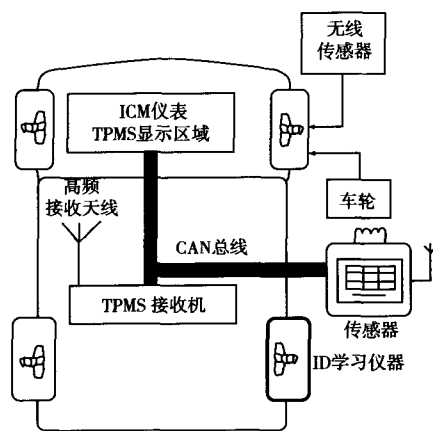


图1 TPMS系统结构

Fig. 1 TPMS architecture

## 3 系统硬件设计

### 3.1 无线传感器

无线传感器采用气门嘴方式安装在轮胎气门嘴阀杆根部,主要用来监测轮胎内部压力、温度及运动状态,并通过无线方式发送到TPMS接收机,再通过CAN总线送往仪表显示。无线传感器电路部分主要包括压力传感器、温度传感器、加速度传感器、信号调理、低频接口、射频电路及供电电池<sup>[6]</sup>,如图2所示。MEMS压力传感器感应轮胎内部的压力,将压力信号转换为电信号,并送往信号调理中心进行放大、补偿等数字化处理。低频天线及低频接口构成低频模块,它感应低频触发器发送来的125 KHz低频信号,根据触发信号的指令内容,由信号调理中心执行相应操作,在轮胎异常情况下或在规定的时间内,无线传感器通过高频发射天线发射无线信号给TPMS接收机,信号的中心频率为315 MHz或434 MHz。此外,温度传感器检测轮胎的温度,加速度传感器用于检测轿车的运行状态,供电模块采用3 V纽扣电池。

考虑到TPMS无线传感器所处的工作环境极其恶劣,需要抗击振动、冲击、高压、潮湿环境及电磁干扰。由此,把电池、电路板、电路元件通过外壳及灌封胶封装成整体模块<sup>[7]</sup>。

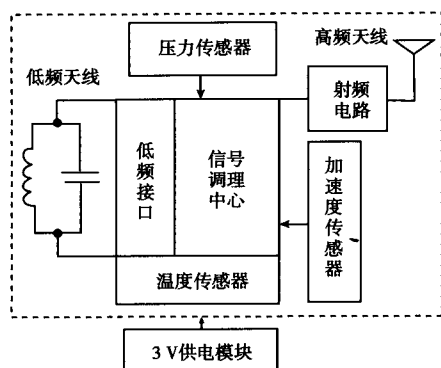


图2 无线传感器电路结构框图

Fig. 2 Wireless sensor architecture

### 3.2 基于CAN总线的TPMS接收机

TPMS接收机置于仪表板下方,主要包括高频天线、射频接收模块、微处理器、CAN控制器、CAN通信模块及电源模块,图3为接收机电路结构框图。高频天线接收来自无线传感器的高频无线信号,经过射频接收模块的滤波、放大、混频及解调后送往微处理器进行处理。微处理器根据数据处理的结果执行相应操作,包括通过CAN通信模块向仪表发送消息包或者从总线上接收需要的消息包。电源模块对汽车电瓶电源进行滤波、防反压、防浪涌、电平转换、瞬态抑制等处理。

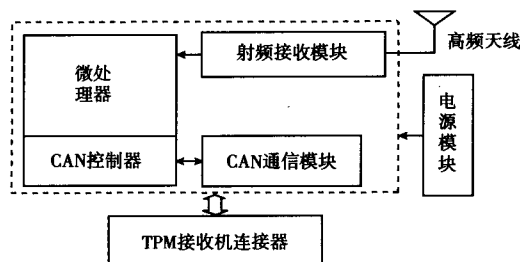


图3 接收机电路结构框图

Fig. 3 TPMS receiver architecture

### 3.3 基于CAN总线的传感器ID学习仪器

传感器ID学习仪器是独立于车身TPMS系统之外的辅助设备,主要包括高频天线、射频接收模块、低频天线、低频驱动模块、微处理器、EEPROM(电可擦写可编程只读存储器)、CAN控制器、CAN通信模块及电源模块,图4为ID学习仪器的电路结构框图。学习仪器通过低频驱动和低频天线发射指令给无线传感器,触发传感器执行相应指令。微处理器通过高频天线接收来自无线传感器的高频无线信号,根据数据处理的结果执行相应的操作,包括区别和存储不同轮胎位置无线传感器的ID信息,通过OBDII(On-Board Diagnostics,车载诊断)车身诊断接头,ID学习仪器和TPMS接收机进行CAN总线通信,完成ID信息的发送等功能。ID学习仪器先按固定

的顺序收集4个轮胎位置无线传感器的ID信息,而后集中通过CAN总线送往TPMS接收机。

### 3.4 基于CAN总线的仪表TPMS显示

TPMS接收机在接收并处理完无线传感器的高频信号后,把数据或者告警信息通过CAN总线送往ICM仪表模块的TPMS显示区域进行显示。TPMS显示区包括轮胎压力告警符号、TPMS系统故障告警符号、轮胎位置符号<sup>[2]</sup>。

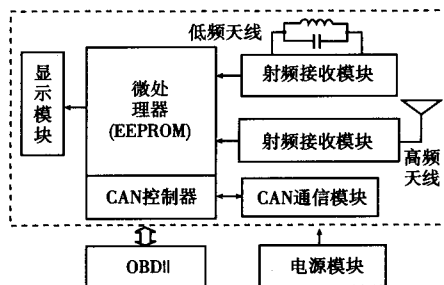


图4 传感器ID学习仪器电路结构框图

Fig. 4 Sensor ID learning device architecture

## 4 系统软件设计

在汽车高速CAN总线通信网络中,TPMS系统本身也组成通信子网,子网中每个节点的软件设计是保障TPMS系统正常工作的关键。该系统的软件设计主要包括无线传感器的软件设计、TPMS接收机的软件设计。

### 4.1 无线传感器的软件设计

无线传感器的软件设计是系统软件设计的关键。图5为无线传感器软件控制的流程图。

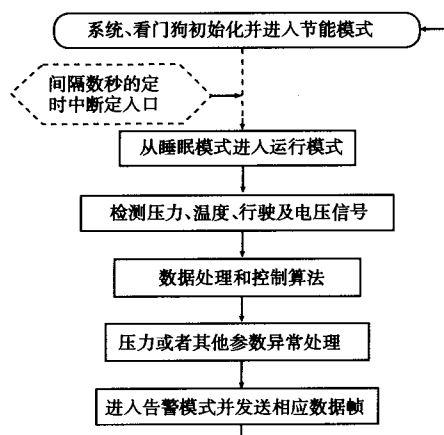


图5 无线传感器软件控制流程图

Fig. 5 Wireless sensor control software flowchart

轮胎压力异常状况主要包括低压力<sup>[2]</sup>、高压、快速漏气及慢速漏气。快速漏气是指很短的时间段内,压力一直在急剧下降并且下降的总值超过规定的压力范围。

无线传感器向接收机发送数据帧采用固定的数据帧长度进行,具体数据帧格式如表1所示。其中,识别码ID为4字节,压力、温度、电压、状态、校验码数据分别为1字节。

表1 无线通信数据帧格式

Table 1 wireless communication data frame format

Byte1 ~ Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8	Byte9
4字节ID	Pressure	Temp	Voltage	Status	Checksum

数据帧中状态字节 Status 用于标示无线传感器的各种异常情况,使得 TPMS 接收机能够迅速把轮胎异常情况送往仪表 TPMS 显示区进行显示,表2所示为状态字节的位定义,表中 Bit7、Bit6 为预留位,其他各位分别表示高温、高压、低压力、快速漏气、低电压、传感器故障。

表2 状态字节位定义

Table 2 Bit definitions of the status byte

Status							
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
Reserved	Reserved	High Temperature	High Pressure	Low Pressure Alarm	Rapid Pressure Loss	Low Voltage Alarm	Sensor Malfunction

## 4.2 TPMS 接收机的软件设计

TPMS 接收机软件设计主要包括内部寄存器初始化、时钟和定时器设置、SPI 模块初始化和射频接收模块设置、CAN 模块初始化、开放内部中断使能、发送网络管理帧和应用帧,图6为 TPMS 接收机主程序流程图。

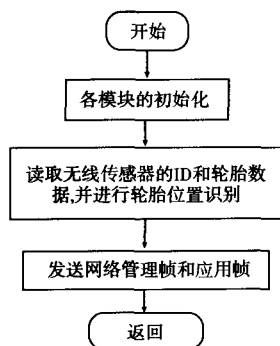


图6 TPMS 接收机主程序流程图

Fig. 6 TPMS Receiver main program flowchart

TPMS 接收机初始化完毕,将进行网络通信,具体控制流程图如图7所示。网络通信包括网络管理帧、应用帧数据处理、传感器 ID 信息学习以及发送故障诊断数据。此后,TPMS 接收机进入 Wait 节能模式。

总线网络的电控节点之间采用了基于 CAN2.0B 及 ISO11898 的通信协议,通信的数据帧采取规范的格式,规定了数据的类型、通信速率、刷新频率及字节状态位定义。表3和表4分别是 TPMS 接收机发送给 ICM 仪表的数据帧和总线上发给 TPMS 接收机的数据帧。

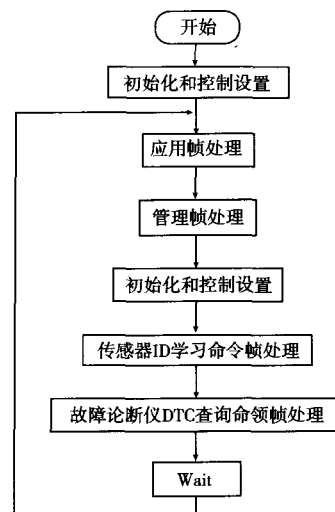


图7 TPMS 接收机网络管理流程图

Fig. 7 TPMS Receiver network management flowchart

表3 TPMS 接收机发送给 ICM 仪表的通信数据帧

Table 3 Communication data frames sent from TPMS receiver to ICM meters

信号名称	最低位的位置	比特位数
胎压系统故障	0	1
轮胎位置	2	2
保留	4	4
低压力	8	2
快速漏气	10	2
高压	12	2
高温	14	2
轮胎压力	16	8
轮胎温度	24	8

注:总线传送速率:500 Kb/s 信号类型:周期性

表4 总线上发送给 TPMS 接收机的通信数据帧

Table 4 Communication data frames sent from other nodes to TPMS receiver

信号名称	比特位数	初始化值	数据刷新频率/ms
点火开关状态	2	00b	50
电瓶电压	8	00h	50
车速信号	10	000h	50
刹车信号	2	00b	20
环境温度	8	00h	1 000
轮胎直径	2	00b	5 000
里程数	20	000h	50

## 5 系统抗干扰性设计

随着汽车本身装备的电子控制系统变得越来越多、越来越

越复杂,整车及各个系统的抗干扰性设计问题越来越突出<sup>[8]</sup>。为了防止电磁环境干扰对汽车电子控制系统的性能产生不利影响,避免系统性能的下降或功能的丧失,保证大量电子控制系统能在同一个整车电器系统中彼此互无影响并可靠地工作,TPMS系统采取的主要抗干扰性措施如下:

(1)电源:在TPMS接收机的设计中,在DC-DC电压转换前进行防电源反向、浪涌、过压、开关打火、静电处理,且在电源输入端设计了RC滤波电路滤除来自输入电源的高频干扰,电压转换后进行电压纹波抑制,消除电源线 and 地线中的脉冲电流干扰。

(2)CAN模块:除了CAN总线本身的特点和CAN控制器本身具有较强的抗干扰性特点之外,TPMS主要采取了以下措施来提高CAN通信模块的抗干扰性:①CAN控制器通过高速光耦与CAN收发器相连;②在CAN总线的两端加有2个120Ω的电阻,这2个电阻对于总线阻抗的匹配起着重要的作用;③在信号线CANH和CANL与信号地之间并联工作电压为33V的TVS管(瞬态抑制二极管);④在总线和CAN收发器之间串联共模扼流圈扼制共模干扰电流。

(3)混合信号电路设计:TPMS接收机电路是由电源模块、射频模块、高速CAN模块及数字控制部分等构成的混合信号电路。接收机的电路设计主要考虑:①将PCB分区为独立的模拟部分和数字部分;②数字电源和模拟电源通过磁珠进行隔离,将数字地和模拟部分地线分开敷设,最后单点相接;③A/D转换器跨分区放置;④采用4层电路板,中间2层分别为电源层和地线层,干扰就会被限制在中间层,不会扩散出去,同时对2个信号层进行屏蔽。

(4)软件可靠性设计:TPMS软件采取的抗干扰性主要措施包括:①系统对探测的数据进行数字滤波处理,包括通过多次测量和对异常数据的连续读取,排除外界的干扰;②对告警状况进行多重数据分析。譬如既对压力下降的过程进行监测和预告警处理,又依照告警阈值进行正确判定;③设置看门狗和软件陷阱,进行软件容错处理,对无线通信数据进行校验。

## 6 测试

利用Vector CANalyzer总线分析仪以及上海飞恩微电子合作开发的专用TPMS数据测试记录系统,对本文所设计的直接式轮胎压力监测系统进行了测试。

该TPMS系统已在国内某汽车公司的A型轿车上进行了18个月的台架试验和30 000 km的车载路测。下面以TPMS总线通信、南方炎热夏天和北方寒冷冬天左前轮胎状态的监测数据、左前轮胎低压力告警、左前轮胎高压压力、左前轮胎慢速漏气为例进行说明。其中无线传感器正常情况下发射无线数据的间隔为5 min,每次发射一帧。在紧急情况下缩短发射间隔。

表5为车身总线网络中该TPMS接收机的总线通信

统计情况。图中应用数据帧周期性刷新频率准确,无远程帧和错误帧,表明该TPMS在网络中运行正常。

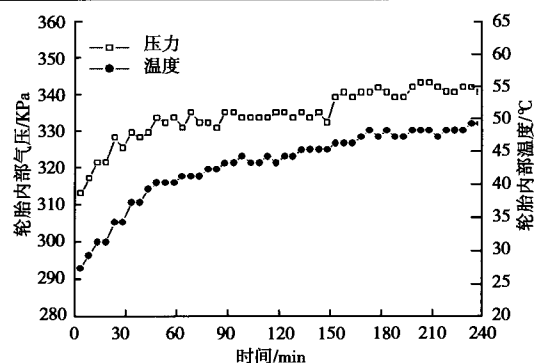
图8(a)、(b)分别为在中国南方炎热夏季和北方寒冷冬季的左前轮胎压力数据。轿车在路面行驶速度为50~100 km/h。图8(a)中,室外环境温度为27℃。在240 min时间段内,左前轮胎的轮胎压力和温度数据接收数量分别在45帧以上,数据帧正确接收率<sup>[9]</sup>为95%以上。图8(b)中,室外环境温度为-23℃,左前轮胎在1 800 s时间内,无线传感器发射的轮胎压力和温度数据分别在91帧,接收到的正确数据帧为88帧,正确接收率为95%以上。

表5 TPMS接收机的CAN总线通信统计

Table 5 CAN bus communication statistics of TPMS receiver

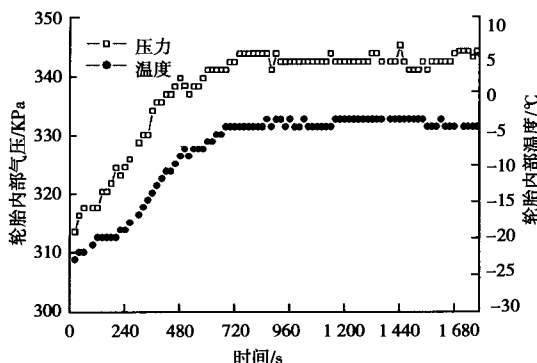
信号名称	TPMS节点收发状态	ID	数据帧数量	标准偏差/ms	数据刷新时间间隔/ms	远程帧数量	错误帧数量
TPMS	Tx	31Ch	500	7.2	1 000	0	0
CLM	Rx	31Fh	500	35	1 000	0	0
BCM	Rx	38Dh	250	38.7	2 000	0	0
ICM	Rx	410h	10 000	34	50	0	0

注:Tx表示由TPMS接收机节点发送;Rx表示由TPMS接收机节点接收



(a) 南方炎热夏季

(a) Hot summer in the south



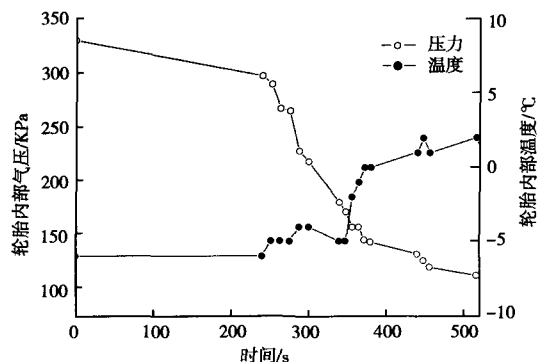
(b) 北方寒冷冬季

(b) Cold winter in the north

图8 轮胎车载路测数据曲线

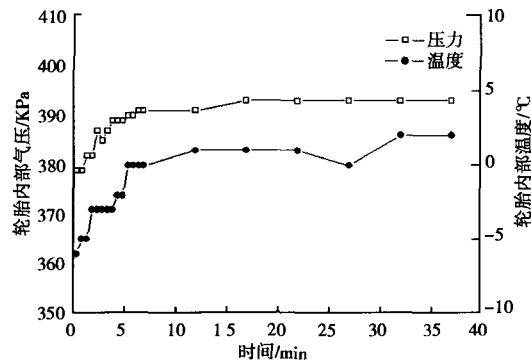
Fig. 8 Test results of tire pressure in different climates

图9(a)为左后位置轮胎发生快速漏气直至低气压状况下的胎压信号数据。在静止状态下让轮胎轻微漏气,启动轿车快速进入运动状态。室外环境温度为 $-6^{\circ}\text{C}$ ,左后轮的充气气压为2.3 Bar。由图9(a)可见,在快速漏气情况发生时,无线传感器发射数据的频率加快,当气压下降至1.7 Bar时,无线传感器进入低气压告警状态,数秒之内就发射无线数据进行低气压告警。图9(b)为左后轮胎在高压状况下的数据,室外环境温度为 $-6^{\circ}\text{C}$ ,左后轮的充气气压为2.8 Bar。由图9(b)可见,一旦压力偏高,TPMS也进行告警,提醒驾驶员。



(a) 低压力告警

(a) Low tire pressure warning



(b) 高压力告警

(b) High tire pressure warning

图9 轮胎压力告警曲线

Fig. 9 Test results of tire pressure warnings

图10为轮胎发生慢速漏气情况下的数据。室外环境温度为 $18 \sim 27^{\circ}\text{C}$ ,轿车在路面行驶速度为 $50 \sim 100 \text{ km/h}$ ,在2400 min(40 hr)时间内,轿车左前轮胎经历了2个白昼和黑夜的行驶和静止,轮胎的压力从冷态气压值2.15 Bar降为1.6 Bar以下。由图可见,该TPMS系统能够监测时间周期很长的轮胎气压慢漏。

由以上测试数据可以看出,该TPMS系统不但能够实现各种气候条件下的轮胎压力监测,而且能够准确及时地监测轮胎低压力、高压力及慢速漏气状况,提高了轿车行驶的安全性和经济性,降低了爆胎的可能性。

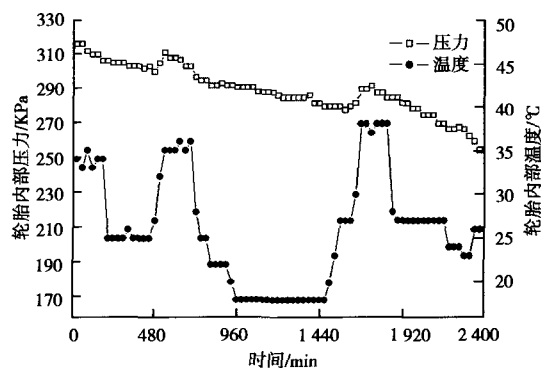


图10 轮胎慢速漏气

Fig. 10 Test results of slow air leakage

## 7 结 论

本文设计了一种基于无线传感器和CAN总线的轿车直接式胎压监测系统,给出了详细的硬件设计、软件设计以及控制算法,列出了系统抗干扰注意事项,并对系统进行了台架测试和车载测试。测试结果表明:(1)在接入TPMS系统的轿车总线通信网络中,TPMS接收机没有错误帧,应用帧刷新时间间隔准确,TPMS接收机和其他电控节点信息交互正常,性能稳定;(2)该系统在行驶过程中无线传输数据的正确接收率为95%以上,说明无线链路通信可靠;(3)该系统能够在各种气候和车速情况下监测轮胎内部压力、温度的实时变化。在轮胎发生低压、高压、快速漏气以及慢速漏气的情况时,无线传感器能够进行紧急情况处理,并把告警信息及时发送给TPMS接收机和TPMS显示区域;(4)该系统能够实现对轮胎的及时准确的监测,提醒驾驶员使得轮胎处于最佳状态,不仅防止轮胎过热,提高轿车的操纵性能,降低了爆胎的可能性,而且提高了轮胎的寿命和燃油效率。

该TPMS系统目前已经作为标准配置成功地应用在国内某汽车主机厂的A型轿车上。该TPMS系统集成度高、性能稳定、抗干扰性好、价格低,便于在国内外轿车主机厂的前装TPMS市场进行推广。

## 参考文献

- [1] 何仁,胡青训,薛翔. 汽车轮胎压力监测系统发展综述[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(10): 105-109.  
HE R, HU Q X, XUE X. Review on development of tire pressure monitoring system[J]. China Safety Science Journal, 2005, 15(10): 105-109.
- [2] US Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, Federal Motor Vehicle Safety Standards: Tire Pressure Monitoring Systems, Controls and Displays[S]. 2001.
- [3] HILL M, TURNER J D. Automotive tire pressure sens-

- ing [C]. Automotive Sensors, IEE Colloquium on, 1992;5/1-5/6.
- [4] 邬宽明. CAN 总线原理和应用系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1996.
- WU K M. CAN bus principle and application system design[M]. Beijing:Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 1996.
- [5] 刘胜,王小平,李青侠,等. 无线汽车轮胎安全监测系统:中国,200410018355. x[P]. 国家知识产权局. 2005-11.
- LIU SH, WANG X P, LI Q X, et al. Wireless automobile tire pressure monitoring system: China, 200410018355. x. State Intellectual Property Office of P. R. China, 2005.11.
- [6] LIU SH, CHEN B, CHEN J J, et al. An intelligent integrated sensor of tire pressure monitoring system (TPMS) United States Patent 20060185429[P]. Document type and number, 2006.08.
- [7] WANG X J, WU ZH G, LIU SH. Modeling and simulation of thermal-mechanical characteristics of the packaging of tire pressure monitoring system [C]. Electronic Packaging Technology, 2005(Suppl):693-695.
- [8] 李青侠,冷毅,董天临,等. 某型汽车用油压传感器的电磁兼容设计[J]. 仪表技术与传感器,2006,283(9):10-12,29
- LI Q X, LENG Y, DONG T L, et al. Design of electromagnetism compatibility for oil pressure sensor in automobile[J]. Instrument Technique and Sensor, 2006,283(9):10-12,29.
- [9] 李青侠,张宏侠,冷毅. 汽车轮胎压力监测系统动态天线研究[J]. 汽车工程,2007,29(6):470-473.
- LI Q X, ZHANG H X, LENG Y. A study on dynamic antenna in tire pressure monitor system of vehicles[J]. Automotive Engineering, 2007,29(6):470-473.

## 作者简介



冷毅,华中科技大学电子与信息工程系博士研究生,主要研究方向为宽带无线通信、微波遥感、无线传感及汽车电子等。

E-mail:lengyi119@yahoo.com.cn

Leng Yi received BSc degree in electronic engineering from National University of Science and Technology, Changsha, China in 1999. He is now a doctor graduate student in Department of Electronics and Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China. His research interests include microwave antennas and electromagnetic analysis, automotive electronics and software, wireless communications and sensor network

E-mail:lengyi119@yahoo.com.cn



李青侠,1999年于华中科技大学获得电磁场与微波技术专业博士学位,现为湖北武汉华中科技大学电子与信息工程系教授,博士生导师,电磁场与微波技术研究中心副主任,主要研究方向为微波遥感及探测、无线传感及汽车电子。

E-mail:qingxia\_li@hust.edu.cn

Li Qingxia received BSc, MSc and PhD degrees in Electronic Science and Technology all from Huazhong University of Science and Technology, China, in 1987, 1990, 1999, respectively. He is now a professor and supervisor for Ph D student in Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China. His research interests include passive microwave remote sensing, microwave detection and digital signal processing.

E-mail:qingxia\_li@hust.edu.cn