

基于并联电阻网络的轮胎磨耗检测系统设计

锡林,何雪涛,杨卫民,谭晶,张金云,杨华光,阎华

(北京化工大学机电工程学院,北京 100029)

摘要:针对轮胎磨耗量检测设备结构复杂、成本高、操作繁琐等问题,开发出基于并联电阻网络、无线收发模块和STC12C5A60S2单片机的实时检测轮胎磨耗量的轮胎磨耗检测系统。该系统利用并联的电阻网络将轮胎磨耗量转换成模拟电压值,并通过模数转换电路将模拟电压值变为便于单片机处理的数字量,最后通过无线收发芯片将数据采集到STC12C5A60S2单片机中进行处理和计算,并将结果显示在液晶显示屏上,从而实现对轮胎磨耗等级的判断和预警。通过轮胎磨耗模拟试验设计,得出轮胎磨耗量与总电阻的倒数呈线性关系,从而实现轮胎磨耗量的测量。

关键词:轮胎磨耗;实时检测;电阻网络;传感器;单片机;模数转换

中图分类号:U467.4⁺95;TP216⁺.1

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2019)02-0102-09

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2019.02.0102

轮胎磨损包括胎侧磨损和胎冠磨损,胎冠磨损是影响轮胎使用寿命的主要因素^[1]。目前,研究轮胎使用寿命或轮胎磨耗量的方法主要是基于试验机的在线检测。对于行驶中的汽车轮胎磨耗量的实时检测,国内无相关试验研究。

随着智能轮胎技术及产品的普及和发展,轮胎具备了收集、传输自身所处环境所有信息的能力,并且可对这些信息做出判断和处理。近年来,轮胎压力监测系统(Tire Pressure Monitoring System, TPMS)的引进,使轮胎状态的实时检测成为可能。TPMS是基于微机电系统(Micro-Electro-Mechanical System, MEMS)的微型检测系统,内部植入压力传感器和温度传感器来实时采集轮胎的压力和温度信号^[2-3]。TPMS系统中另外一个核心是无线通信芯片,该芯片能够使系统通过无线方式实现远距离数据传输^[4]。目前,比较常用的短距离无线通信技术包括Wi-Fi技术、ZigBee技术和蓝牙技术等,由于功耗低、开发简便等特点,短距离无线技术的应用越来越广泛^[5-6]。近年来,在工业控制或工业检测方面,低频段无线射频模块应用尤为广泛,一般此类芯片工作频率在310~499

MHz范围,波长较长,载波效果好,传输数据稳定^[7]。F. W. Hahn^[8]将镍-铁金属薄膜夹入两片测试材料中用于检测被测材料的磨损率和温度,得到了金属薄膜长度与电阻的线性关系,从而测量出磨耗量。H. Lüthje等^[9]测量刀具磨耗量时,将薄膜传感器与刀具涂层结合为一体进行磨损,利用电阻值的变化表征刀具磨耗量的变化。

本工作结合无线通信技术、嵌入式技术和电路知识实时检测轮胎的磨耗量,并进行远程数据传输。

1 系统组成

基于并联电阻网络的轮胎磨耗检测系统由检测发送模块和接收显示模块组成,其中检测发送模块由并联电阻构成的电阻网络、模数转换器、STC12C5A60S2单片机、nRF905无线收发电路和电源电路组成,如图1所示。接收显示模块由nRF905无线收发电路、STC12C5A60S2单片机、OLED显示屏、上位机接口和电源电路组成,如图2所示。并联电阻网络用于检测轮胎的物理磨耗量;ADC转换电路的作用是将模拟电压值转换为单片机可以读取的数字量,便于单片机处理和计算;STC12C5A60S2单片机用于处理检测数据并计算磨耗等级,主要是对采集到的数据进行处理和

作者简介:锡林(1991—),男,内蒙古呼伦贝尔人,北京化工大学硕士研究生,主要从事轮胎智能检测方面的研究。

E-mail: xilin1991@126.com



图1 检测发送模块组成示意

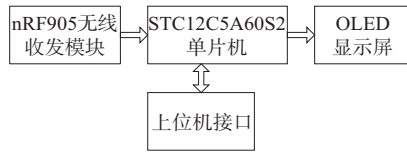


图2 接收显示模块组成示意

计算;nRF905无线收发电路主要用于数据传输和通讯;OLED液晶屏幕用于显示电阻网络电阻值和磨损等级。

2 系统硬件电路设计

2.1 并联电阻网络

电阻网络由电阻丝并联的回路组成,回路与缓冲输入电路连接,对信号进行电气匹配,通过检测回路两端电阻值大小来确定磨损程度,该系统将轮胎的磨损等级分为3个级别,电阻网络电路如图3所示。

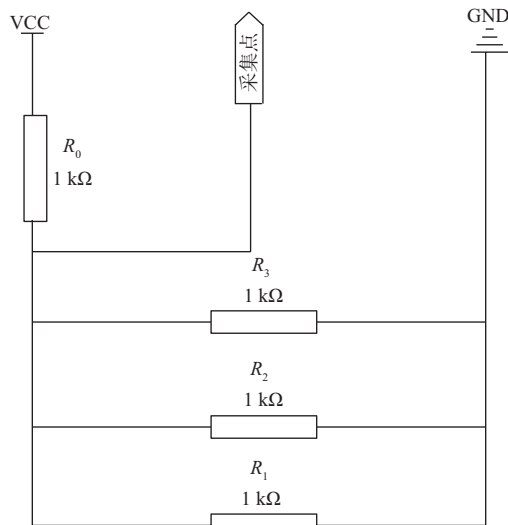


图3 电阻网络电路示意

设每个电阻丝的电阻 R 为 $1\text{ k}\Omega$,每个电阻丝并联形成回路,并联回路总电阻 $1/R_x = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$,则电阻网络的总电阻 $R_z = R_0 + R_x$,即:

$$R_z = R_0 + \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} \quad (1)$$

其中,

$$R_0 = R_1 = R_2 = R_3 = 1\text{ (k}\Omega\text{)} \quad (2)$$

则

$$R_z = \frac{4R}{3} \quad (3)$$

此时确定轮胎磨损等级为1。随着胎面花纹的磨损,电阻丝受到磨损,当第1个回路的电阻丝被磨掉时,检测到的电路两端 R_z 为

$$R_z = \frac{3R}{2} \quad (4)$$

此时单片机通过ADC转换电路接收的 R_z 增大,由 $4R/3$ 变为 $3R/2$,可确定胎面花纹磨损等级为2。

随着胎面花纹的磨损,当第2个回路的电阻丝被磨掉时,电阻网络两端检测到的 R_z 继续增大,由 $3R/2$ 变为 $2R$,可确定胎面花纹磨损等级为3。

当第3级电阻丝被磨掉时, R_z 变为无限大,此时并联回路为断路, $R_x = \infty$,胎面花纹磨损超过安全极限。图4为轮胎磨损等级与电阻的对应关系。

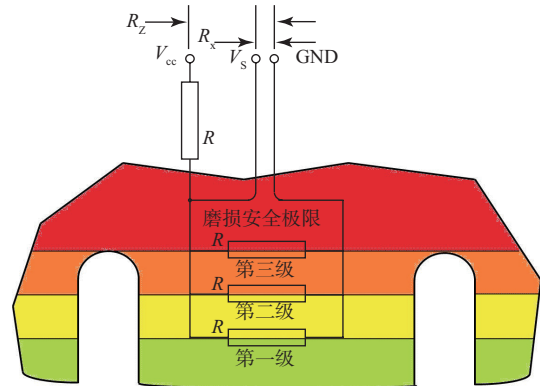


图4 轮胎磨损等级与电阻的对应关系

2.2 模数转换电路

模数转换电路用到STC12C5A60S2单片机上A/D转换口P1(P1.0—P1.7),P1有8路电压输入型A/D转换器,分辨率为10位,采集频率可达 250 kHz ($25\text{ 万次} \cdot \text{s}^{-1}$)。ADC电路由多路选择开关、比较器、逐次比较寄存器、10DAC、转换结果寄存器(ADC_RES和ADC_RES1)以及ADC_CONTR组成,图5为STC12C5A60S2系列单片机A/D转换器的结构示意图。

当ADC结果(ADC_RES[7:0])取8位时,按下式计算:

$$\text{ADC}_{\text{RES}[7:0]} = 256 \times \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{cc}}} \quad (5)$$

式中, V_{in} 为模拟输入通道输入电压, V_{cc} 为单片机实

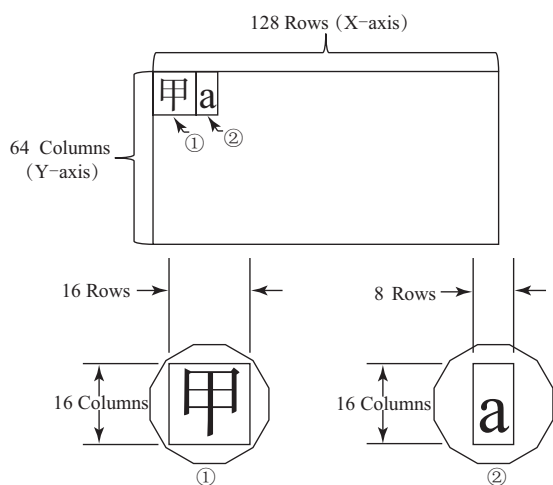


图8 液晶显示屏显示坐标示意

部时钟方式。将STC12C5A60S2单片机的P1.0口作为模拟信号输入通道,通过输入缓冲级与电阻网络连接对采集到的电压值进行模数转换使用。单片机的P2.0—P2.4分别与OLED液晶显

示屏的D0,D1,RES,DC和CS管脚连接,图10为STC12C5A60S2单片机系统电路示意。

电源电路选用基于AMS1117稳压器的电源模块,输入电压6.5~12 V直流电,电压输出可切换,分别为3.3和5 V,最大电流输出为700 mA。本系统采用直流9 V输入、直流5 V输出的电压为整个电路供电,图11为基于AMS1117稳压器电源模块电路示意。

2.5 无线收发模块

无线收发模块选用Nordic公司的nRF905无线芯片,工作频段为433,868和915 MHz三个频段,工作电压为1.9~3.6 V,使用SPI接口与单片机通信。本系统中nRF905芯片选择433 MHz的ISM频段,供电电压为3.3 V,数据传输方向为检测发送模块到接收显示模块的单向传输。表1为nRF905模块工作模式设定,图12为nRF905芯片与

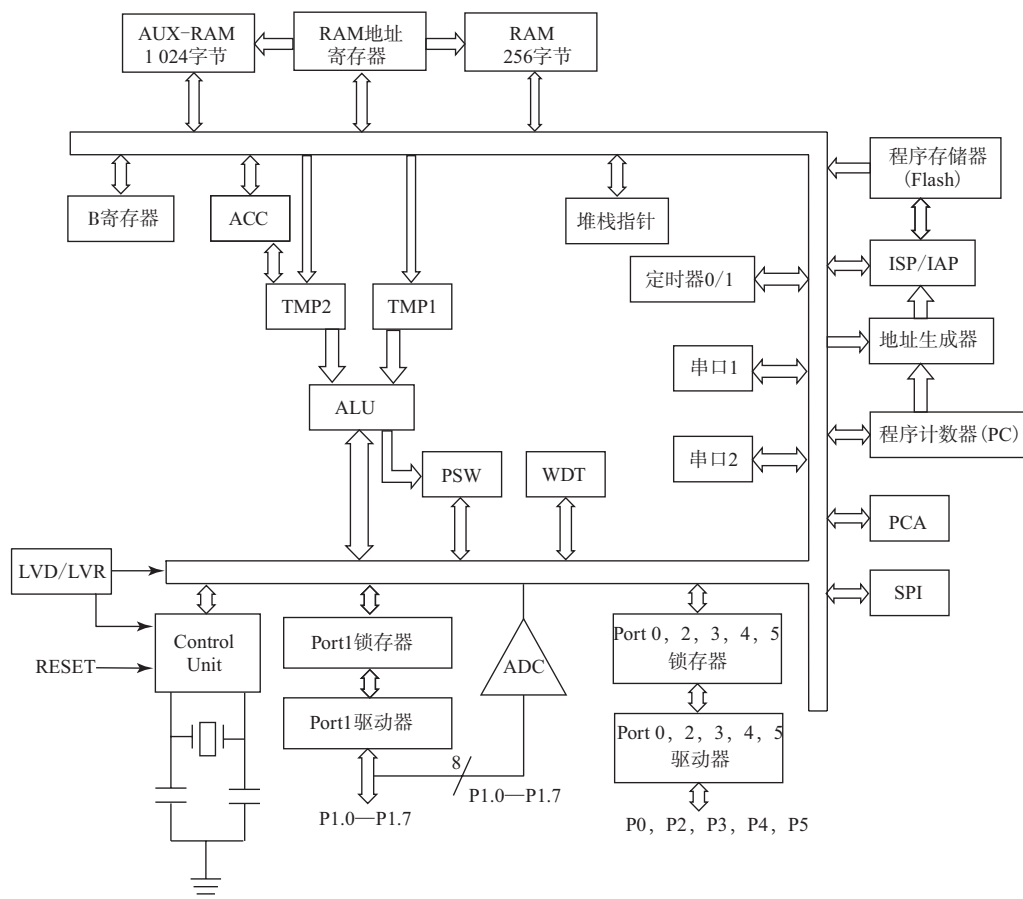


图9 STC12C5A60S2单片机内部结构示意

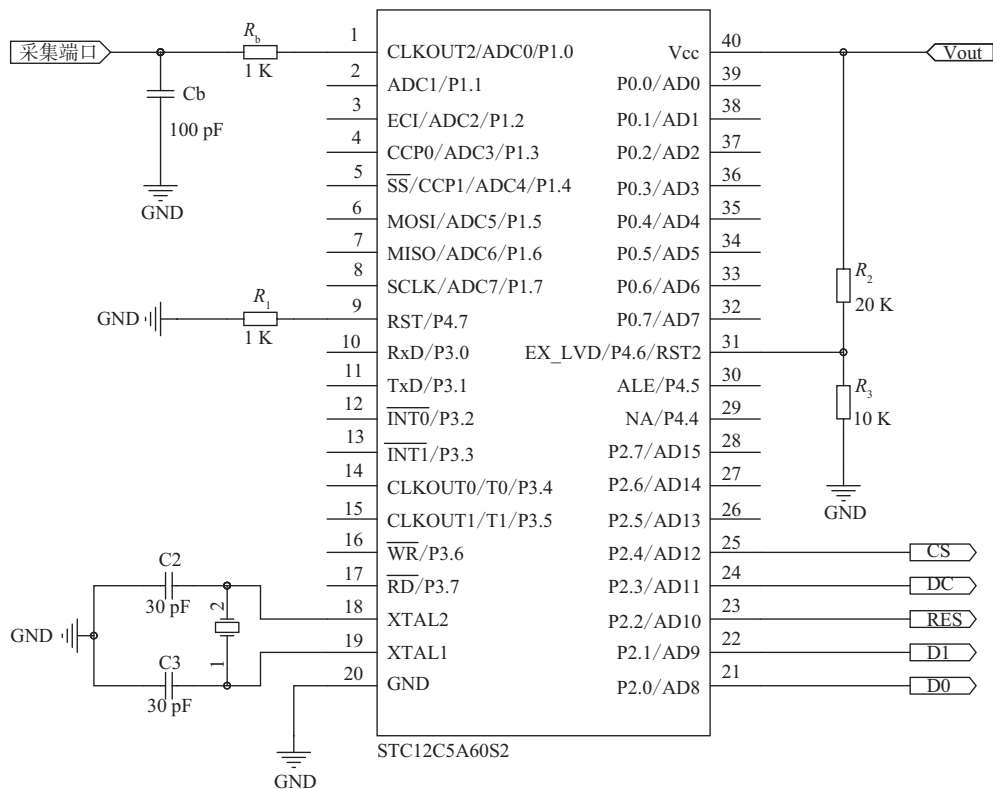


图10 STC12C5A60S2单片机系统电路示意

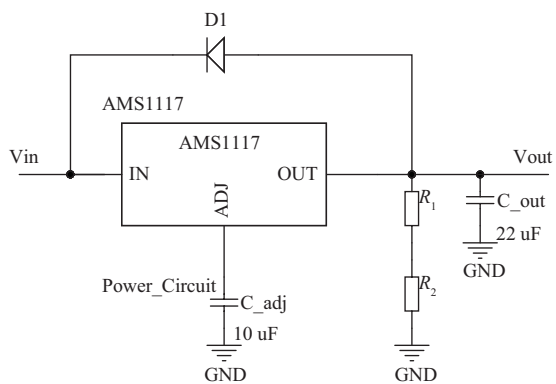


图11 电源模块电路示意

表1 nRF905模块工作模式设定

端口			工作模式
PWR_UP	TRX_CE	TX_EN	
0	X	X	掉电和SPI编程
1	0	X	Standby和SPI编程
1	1	0	ShockBurst RX
1	1	1	ShockBurst TX

STC12C5A60S2单片机连接示意。

3 系统软件设计

本系统程序设计采用模块化结构设计,主要

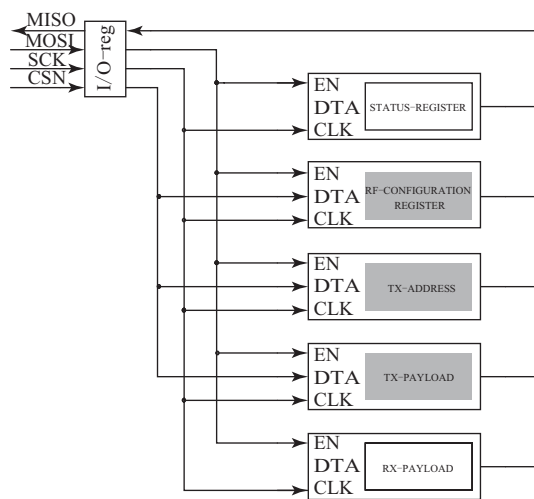


图12 nRF905芯片与STC12C5A60S2单片机连接示意
包括初始化模块、数据采集模块、数据处理模块、显示模块和延时模块。软件设计包括检测发送模块编程和接收显示模块编程。

检测发送模块首先调用初始化模块对nRF905无线射频芯片和单片机上ADC进行初始化和配置,然后调用数据采集模块从数据寄存器中提取数据,再通过给nRF905无线射频芯片上电将检

测数据发送到接收显示模块,为了节能,最后将nRF905无线射频芯片通过软件方法设置为休眠并返回到数据采集模块采集新数据,如此反复执行以上操作。图13为检测发送模块程序流程示意。

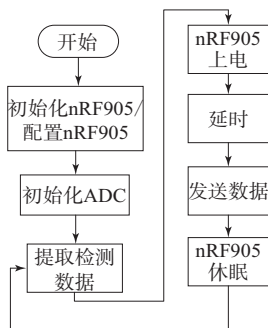


图13 检测发送模块程序流程示意

接收显示模块调用初始化模块对nRF905无线射频芯片和OLED显示屏驱动芯片进行初始化,通过对nRF905无线射频芯片上电接收检测数据,存储到数据处理寄存器中,再调用数据处理模块对数据进行运算和标准化操作,然后将标准化的数据通过显示模块的处理在OLED液晶显示屏上进行显示并返回前面的程序重新给nRF905无线发送芯片上电接收新数据,如此反复执行以上操作。图14为接收显示模块程序流程示意。

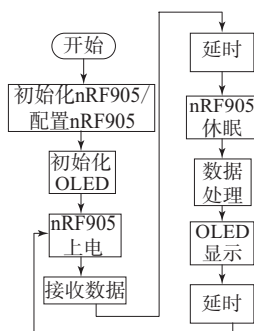


图14 接收显示模块程序流程示意

3.1 初始化模块和延时模块

初始化模块包括OLED液晶显示屏初始化和ADC电路初始化。图15为OLED初始化程序流程示意,图16为ADC初始化程序流程示意。

OLED初始化主要包括驱动寄存器初始化和模式设定两个步骤。其中驱动寄存器初始化主要配置驱动芯片的命令字。模式设定主要作用为显示字库的选择和位置设置,以便正确显示。

ADC初始化主要在STC12C5A60S2单片机上

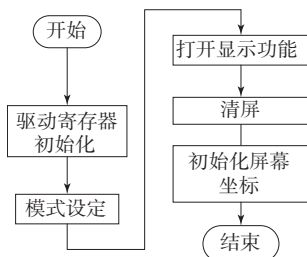


图15 OLED初始化程序流程示意

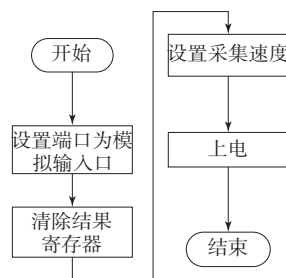


图16 ADC初始化程序流程示意

进行配置,将单片机P1端口设置为ADC端口,清除相关寄存器数据,并设置采集频率。

延时模块主要完成软件延时,对一些操作争取充分的配置时间,图17为延时模块流程示意。

3.2 数据采集模块和处理模块

数据采集模块主要功能是从A/D端口采集有效数据,主要步骤包括设置通道和采集数据,其中采集数据是从数据寄存器内提取数据,得到的数据为电压值的十六进制数值,图18为数据采集模块流程示意。

数据处理模块主要功能是将数据转换成标准

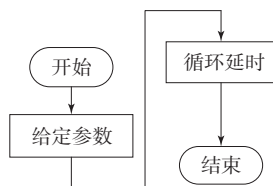


图17 延时模块流程示意

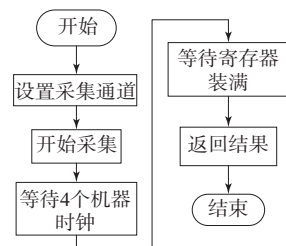


图18 数据采集模块流程示意

化输出数据。由于ADC端口提取的数据为十六进制格式,为了方便计算需将数据转换为十进制,再进行格式转换转换成文本数据,便于在OLED液晶屏幕上显示,图19为数据处理模块流程示意。

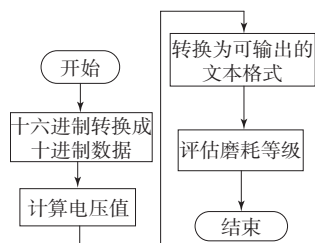


图19 数据处理模块流程示意

3.3 显示模块

显示模块包括汉字显示程序和英文字符、数字显示程序,其区别在于取模的方式不同。图20为显示模块流程示意,图21为取模软件界面。

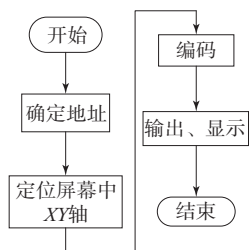


图20 显示模块流程示意

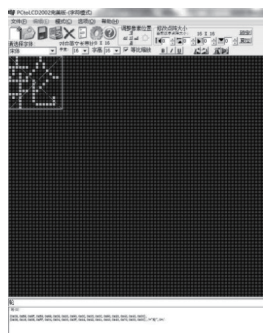


图21 取模软件界面

3.4 无线发送和接收模块

由于nRF905芯片具有收发功能,在程序设计中发送和接收可同时实现。nRF905芯片与STC12C5A60S2单片机通信时,用到SPI接口,因此首先配置SPI接口并在单片机上模拟SPI接口时序。配置nRF905芯片寄存器包括TX_PAYLOAD, RX_PAYLOAD, TX_ADDRESS和RX_ADDRESS四个寄存器的命令字设置,其主要决定工作模式和发

送/接收频率。本设计采用433 MHz频段进行数据传输。图22为无线发送和接收模块程序流程示意。

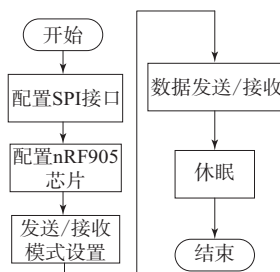


图22 无线发送和接收模块程序流程示意

4 测试结果

测试电路主要包括检测发送模块和接收显示模块。试验中,将3根电阻线安装于胎面花纹块内,安装深度分别为1,3和5 mm,图23为并联电阻线安装位置照片。

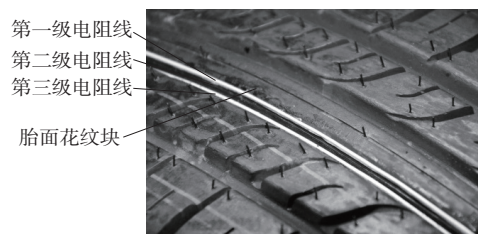


图23 并联电阻线安装位置

接收显示模块结果的显示界面如图24所示。胎面花纹块的磨损照片如图25所示。

(1) 当3根电阻线完好无损时,检测到的电压为1.25 V,即 $ADC_{RES}[7:0] = 0011\ 1111$,十六进制数据为3F,转换成十进制为63,轮胎磨损等级为1[如图24(a)所示]。游标卡尺测量的第1级电阻丝所处深度为1 mm,胎面花纹块磨耗厚度 δ 为0[如图25(a)所示]。

(2) 当最外层电阻线被磨掉时,检测到的电压为1.69 V,即 $ADC_{RES}[7:0] = 0101\ 0101$,十六进制数据为55,转换成十进制为85,磨耗等级为2[如图24(b)所示]。游标卡尺测量的胎面花纹块磨耗厚度 δ 为2 mm[如图25(b)所示]。

(3) 当外层两根电阻线被磨掉时,检测到的电压为2.53 V,即 $ADC_{RES}[7:0] = 1000\ 0001$,十六进制数据为81,转换成十进制为129,磨耗等级为3[如图24(c)所示]。游标卡尺测量的胎面花纹块磨耗厚

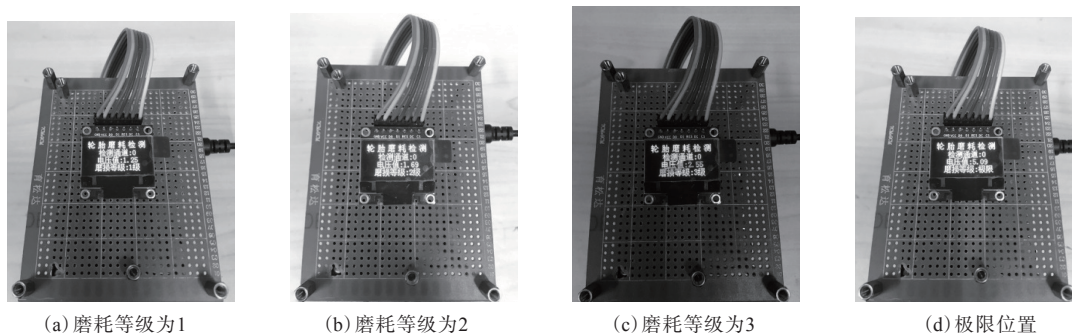


图24 接收显示模块结果的显示界面

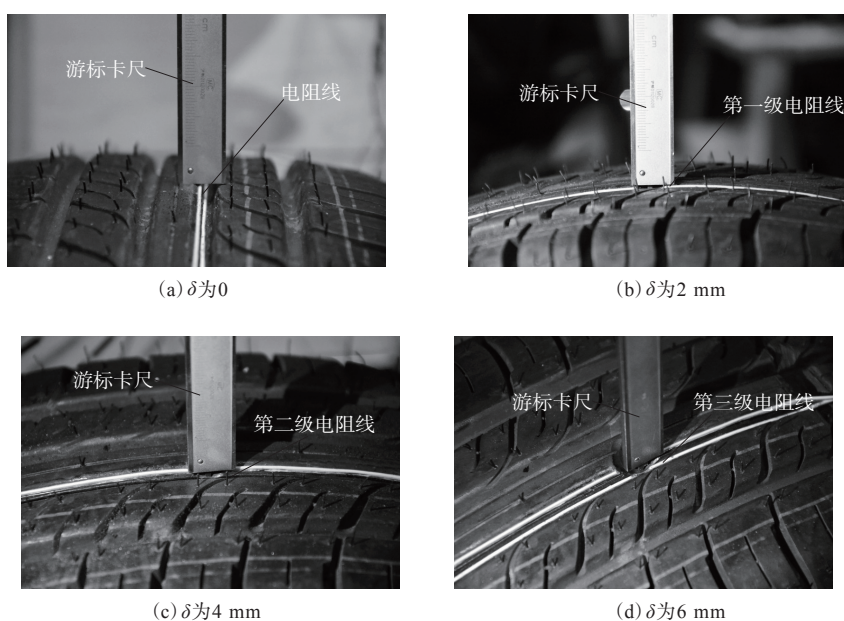


图25 胎面花纹块的磨损照片

度 δ 为4 mm[如图25(c)]。

(4) 当电阻网络的全部电阻线被磨掉时,检测到的电压为5.09 V,即 $ADC_{RES[7:0]}=1111\ 1111$,十六进制数据为FF,转换成十进制为255,磨损等级已经超过安全极限[如图24(d)所示]。游标卡尺测量的胎面花纹块磨损厚度 δ 为6 mm[如图25(d)所示]。

5 结语

(1) 针对轮胎磨损检测开发出基于电阻网络的轮胎磨损检测系统,通过试验验证采用无线收发轮胎磨损检测方案是可行的。

(2) 通过轮胎磨损模拟试验设计,得出轮胎磨

耗量与电阻网络总电阻的倒数呈线性关系,且随着轮胎磨损量增大,电阻网络总电阻增大。数值上,轮胎磨损量为连续量,电阻为离散量。

(3) 基于电阻网络的轮胎磨损检测系统简化了轮胎磨损检测流程,使轮胎磨损检测更直观、检测成本更低且便于操作,具有较大工程应用价值和市场价值。

参考文献:

- [1] 彭旭东,周受钦,谢友柏,等. 汽车轮胎磨损机理的研究[J]. 润滑与密封,1999(6):50-52.
- [2] 张艳红,张兆华,刘理天. TPMS的研究和设计[J]. 仪器仪表学报,2005(S1):441-442.
- [3] 王国林,周大为,赵璠,等. 基于计算机视觉的轮胎负荷轮廓测量系

- 统[J]. 橡胶工业, 2016, 63(3): 182-186.
- [4] 柳猛, 王立志. 射频无线技术在TPMS中的应用[J]. 电子技术, 2007(Z1): 127-130.
- [5] 文璧, 张洁, 徐谦. 基于无线射频与FPGA技术的数据采集系统[J]. 中国测试, 2009, 35(4): 40-43.
- [6] 曹艳华, 曹阳, 吴国庆, 等. 基于LabVIEW和ZigBee的垂直轴风力机无线监测系统[J]. 中国测试, 2015, 41(12): 67-69, 82.
- [7] 郝妍娜, 洪志良. 基于MCU和nRF905的低功耗远距离无线传输系统[J]. 电子技术应用, 2007, 33(8): 44-47.
- [8] Hahn F W. Thin Film Wear Sensors[J]. Wear, 1981, 74(1): 157-164.
- [9] L  thje H, Bandorf R, Biehl S, et al. Thin Film Sensor for Wear Detection of Cutting Tools[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2004, 116(1): 133-136.

收稿日期: 2018-10-16

Development of Tire Wear Detecting System Based on Shunt Resistance Network

XI Lin, HE Xuetao, YANG Weimin, TAN Jing, ZHANG Jinyun, YANG Huaguang, YAN Hua

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to solve tire wear test equipment's problems of complex structure, high cost and complicated operation, a tire wear detecting system for real-time detecting the wear loss of tire, which was based on a shunt resistance network, wireless transceiver module and STC12C5A60S2 MCU, was developed. The system used the shunt resistance network to convert the wear loss of tire into the analog voltage, and this analog voltage was changed into digital quantity which was convenient for the MCU process by analog-to-digital converter. Finally, the data were collected into the STC12C5A60S2 MCU by wireless transceiver for processing and calculation, and the result was displayed on LCD screen, which enabled the real-time evaluation of the tire wear level and early warning. It was found that tire wear loss was linearly related to the reciprocal of total resistance value, and thus the measurement of tire wear loss could be achieved.

Key words: tire wear; real-time detection; resistance network; sensors; MCU; analog-to-digital conversion

Falken又有2款轮胎配套日产

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com) 2018年11月28日报道:

Falken轮胎公司最近宣布其2款全天候轮胎赢得日产配套合同, Sincera SN250A A/S轮胎(见图1)在美国和加拿大为2019天籁配套, Ziex ZE001 A/S为2019 Rogue SV车型配套。

为Rogue SV配套扩大了Falken为2019 Rogue车型配套的范围。Falken自2016年开始为日产Rogue配套。

2019天籁原配胎为H速度级P215/60R16 Sincera SN250A A/S轮胎。该轮胎具有对称条形胎面花纹, 花纹沟刚性较大, 互相支撑, 确保均匀磨损。Falken称, 它是“寻求全天候驾驶舒适的司机的理想选择”。



图1 P215/60R16 Sincera SN250A A/S轮胎

2019 Rogue SV原配胎为225/60R18 Ziex ZE001 A/S轮胎。该轮胎的特点是采用Falken专利静音芯(Silent Core)技术, 即在胎体内侧贴一层醚-聚氨酯泡沫材料降低噪声。

(吴秀兰摘译 赵敏校)