

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.06.020

基于 MSP430F149 的胎压采集系统研究^{*}

谢伟东, 李仁庆, 刘振华

(浙江工业大学 车辆工程研究所, 浙江 杭州 310014)

摘要:针对车辆道路行驶或轮胎台架实验过程中胎压数据实时采集和保存的要求,设计了一种胎压采集系统。该系统以超低功耗单片机 MSP430F149 为核心微控制芯片,采用了集成压力传感器 YCS-01 实时感应轮胎胎压的变化,并采用大容量、低功耗存储器 AT24C512C 保存了实验过程中采集的大量胎压数据,然后通过 USB 通讯接口,将保存在存储芯片中的胎压数据中传输到 PC 端;在软件设计上充分利用 MSP430F149 的低功耗特性来降低系统的功耗,并在理论上研究和计算了系统的功耗。最后进行了实验测试。结果表明,系统实际采样值与标准值的误差在 ± 3 kPa 范围内,能够准确地采集胎压,验证了设计方案的可行性。该系统具有电路结构简单、功耗低、性能稳定和数据存储量大的特点,能满足轮胎实验中要求连续采集胎压瞬态变化数据的场合。

关键词: MSP430F149; 胎压; 功耗低; 采集系统

中图分类号: U463.341; TP271; TH39

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2016)06-0744-06

Research of tire pressure collection system based on MSP430F149

XIE Wei-dong, LI Ren-qing, LIU Zhen-hua

(Institute of Vehicle Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the requirement of tire pressure data collecting and preserving in the road test of vehicle or the tire test bench, a kind of tire pressure collection system was designed. The ultra low power MCU MSP430F149 was used as the core micro unit, the integrated pressure sensor YCS-01 was adopted to measure the tire pressure in system, and the large capacity memory and low power AT24C512C was chosen for saving tire pressure data collected in the experiment, then the tire pressure data stored in the memory chip was transmitted to the PC through the USB communication interface; The low power consumption feature of MSP430F149 was made full use of to lower system power-consumption in software design, research and calculation of system power-consumption in theory was made. Finally, experiments were carried out. The results indicate that the error between system sampling value and setting standard value is within 3 kPa, system can accurately collect the tire pressure data, the feasibility of the design scheme is verified. The system has the characteristics of simple electronic circuit, low power consumption, stable performance and large data storage capacity, which can be applied to the collection and storage of tire pressure transient data in experiment.

Key words: MSP430F149; tire pressure; low power consumption; collection system

0 引言

车辆在道路上行驶的过程中,由于轮胎受到动载荷、环境温度、初始气压、车速和路面类型等诸多因素的综合影响,轮胎胎压始终处在一个动态的变化过程

中^[1]。尤其当车辆行驶在一些特定的工况下,如路面不平引起的车辆上下振动、轮胎爆胎造成的行驶不稳定性以及曲线行驶引起的左右轮胎载荷等,轮胎胎压的动态变化显得更加明显。轮胎胎压作为车辆行驶过程中的一个动态参数,胎压的动态变化在一定程度上

收稿日期: 2016-01-12

基金项目: 浙江省科技计划资助项目(2014C31101); 浙江省重点实验室建设项目(2013E10031)

作者简介: 谢伟东(1962-),男,浙江玉环人,教授,主要从事汽车动力学与控制技术方面的研究。E-mail: xwd@zjut.edu.cn

表征了车辆行驶状态的变化,它在车辆操作稳定性和行驶安全性等方面有着许多潜在的研究价值,而对轮胎胎压变化特性的研究是探究胎压与车辆行驶状态之间变化关系的首要基础工作^[2-3]。

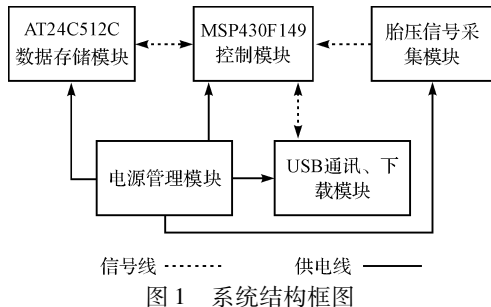
为了研究轮胎胎压的变化特性,需要获取轮胎在不同测试条件下的胎压动态变化数据,以便于轮胎胎压变化特性的进一步研究。国内外研究学者对胎压装置的相关开发大多侧重于轮胎胎压的监测或预警,以防止车辆在胎压异常工况下长时间行驶或胎压过高、过低带来的安全隐患,如 TPMS、胎压计等,但不能满足车辆轮胎实验中要求采集和保存胎压瞬态变化数据的场合^[46]。

基于此,本研究设计一种以 16 位低功耗单片机 MSP430F149 为主控芯片的胎压信号采集系统,可实现对轮胎胎压信号的实时采集和存储。

1 系统总体方案设计

该轮胎胎压采集系统主要由胎压信号采集模块、MSP430F149 控制模块、AT24C512C 数据存储模块、USB 通讯、下载模块和电源管理模块 5 个模块组成。胎压信号采样模块采用集成压力传感器 YSC-01, 通过专用密封装置固定在轮胎气门嘴上, 感应轮胎胎压信号的动态变化, 并将胎压信号转换为主控制器可处理的模拟电信号; MSP430F149 控制模块则对胎压信号模块产生的模拟信号进行 A/D 转换和数据处理, 然后通过 I2C 通讯协议将胎压数据实时地写入 AT24C512C 数据储存芯片中; AT24C512C 数据存储模块用于保存主控制器发送过来的胎压数据; USB 通讯、下载模块用于测试程序的下载及后期实验数据的获取; 电源管理模块则完成对整个系统的供电任务。

胎压信号采集系统的结构框图如图 1 所示。



片机 MSP430F149 作为主控芯片,它具有处理能力强、运行速度快、片上资源丰富和功耗低等优点,能够使纽扣电池长时间工作,是开发低功耗、高速实时控制及数据计算产品的不错选择。MSP430F149 单片机电源电压工作范围为 1.8 V ~ 3.6 V,在活动模式时耗电 250 μ A/MI-PS, I/O 输入端口的漏电流最大仅为 50 nA;支持多个中断源,并可任意嵌套,用中断源将 CPU 唤醒最短只要 1 μ s,通过合理编程,既可降低系统功耗,又可以对外部事件请求做出快速响应;它还具有丰富的片上外围模块,其 12 位 A/D 转换器带有内部参考源,采样保持,自动扫描等特性;16 位定时器 Timer_A 具有 4 种工作模式,可同时进行多个捕获/比较功能;48 个可独立编程的 I/O 口;2 个串行通信接口 USART0 与 USART1 等^[7]。

MSP430F149 控制模块的电路如图 2 所示。

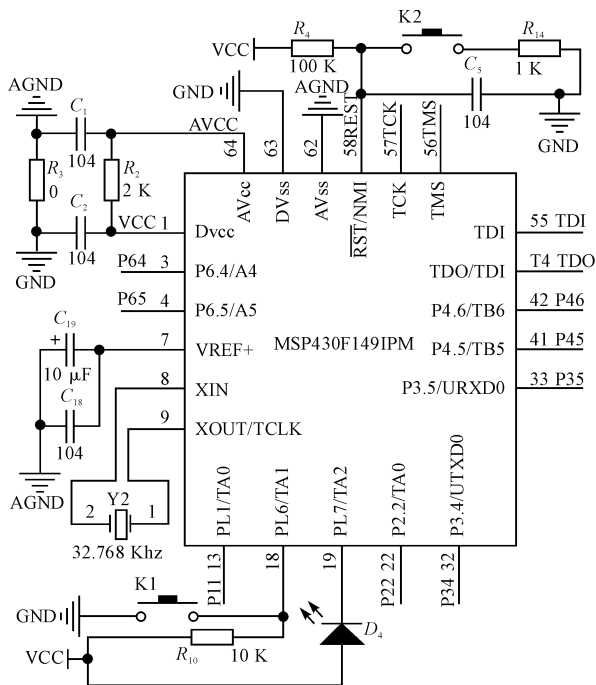


图 2 MSP430F149 控制模块电路图

MSP430F149 控制模块是胎压信号采集系统的核心控制部分,由最小系统电路和其他模块的接口电路组成。MSP430F149 单片机的 P64 引脚连接到胎压信号采集模块的模拟信号输出端,P65 引脚是备用模拟通道接口;P45 和 P46 引脚连接到 AT24C512C 数据存储模块,实现 MSP430F149 和 AT24C512C 之间的 I2C 总线协议通讯,保存实验过程产生的胎压数据。电容 C_1 和 C_2 是 $0.1\ \mu\text{F}$ 的瓷片电容,是单片机数字电源 VCC 和模拟电源 AVCC 的去耦电容,用于提高单片机系统工作的稳定性,同时为了减少数字电路部分对模拟电路部分的信号干扰,通常在数字地和模拟地之间连接

2 硬件电路设计

2.1 MSP430F149 控制模块

为了降低系统功耗,提高胎压信号采集装置的有效使用时间,本研究使用美国德州仪器公司的 16 位单

一个 $0\ \Omega$ 电阻。另外 MSP430F149 单片机的 12 位 A/D 转换器内置参考电源,参考电压有 6 中可编程选择,而该胎压信号采集装置在实验过程中采用纽扣电池供电,为了保证 12 位 A/D 转换器参考电源的稳定,选择内部 $2.5\ \text{V}$ 的参考电源 VREF^+ ,故需在 VREF^+ 引脚配置 $0.1\ \mu\text{F}$ 的电容 C_{18} 和 $10\ \mu\text{F}$ 的电容 C_{19} ,以保证内部参考电压源的正常运行。

2.2 胎压信号采集模块

胎压信号采集模块的电路比较简单,主要由集成压力传感器和接口电路组成,压力传感器 OUT 引脚是模拟信号输出端,经过千分之一的高精度电阻 R_5 和 R_6 分压后,连接到 MSP430F149 单片机 P64 引脚,电路如图 3 所示。

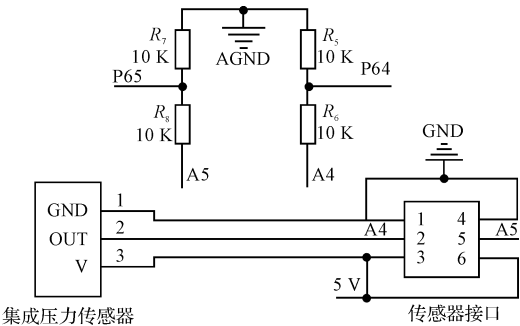


图 3 胎压信号采集模块

该装置采用的传感器是型号为 YSC-01 的陶瓷集成压力传感器,它将压力传感器与放大电路集成在一起,在专业的数字平台上对压力信号做了校准,体积小、连接方便、精度高,适合于测量胎压、气压的场合。

YSC-01 压力传感器的各个引脚功能说明如表 1 所示。

表 1 集成压力传感器引脚功能表

引脚	颜色	名称	描述
1	黑	GND	电源地
2	蓝	OUT	模拟信号输出
3	红	V	5 V 供电

YSC-01 压力传感器是表压传感器,气压测量范围: $0\sim0.5\ \text{MPa}$,适用于绝大多数常用车辆胎压测量范围,供电电压为 $5\ \text{V}$ 的恒压,相应的功耗参数为 $1.25\ \text{mW}$,模拟信号输出范围: $0.5\ \text{V}\sim4.5\ \text{V}$ 。YSC-01 压力传感器的反应时间小于 $1\ \text{ms}$,综合测量精度为 $\pm 5\ \text{kPa}$ 。

胎压和输出电压有着良好的线性关系,计算公式: 胎压 = (输出电压 - 500)/8, YSC-01 压力传感器将输出电压送给 MSP430F149 单片机,经过内部 12 位 A/D 转换后,再根据上述关系式就可以得到实时的胎压数据。

胎压和模拟电压输出的对应关系如图 4 所示(其

中:纵坐标—电压输出,横坐标—胎压)。

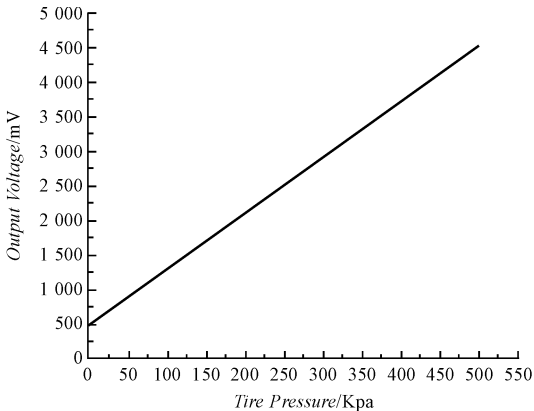


图 4 胎压与输出电压对应关系图

2.3 AT24C512C 数据存储模块

系统在采集胎压信号的过程中会产生大量的胎压数据,需要及时地保存,以便后续的获取和使用;考虑到存储芯片的数据储存容量以及存储功耗的大小,本研究选择 Atmel 公司生产的 AT24C512C,它拥有 $64\ \text{KB}$ 串行电可擦的可编程存储器,内部有 512 页,每一页为 128 字节,适用于许多要求低功耗、低电压操作和大容量数据存储的数据采集系统的工业级或商业级应用。AT24C512C 数据存储模块的外围电路比较简单,芯片的时钟引脚 SCL 和数据引脚 SDA 分别连接到 MSP430F149 单片机的 P45 和 P46 引脚, MSP430F149 单片机通过 I2C 总线协议完成胎压数据的读写操作;电阻 R_{12} 和 R_{13} 是 $10\ \text{k}\Omega$ 的上拉电阻,将芯片的数据引脚 SDA 和时钟引脚 SCL 的空闲状态嵌在高电平,保证数据的读写过程正常运行;具体的电路如图 5 所示。

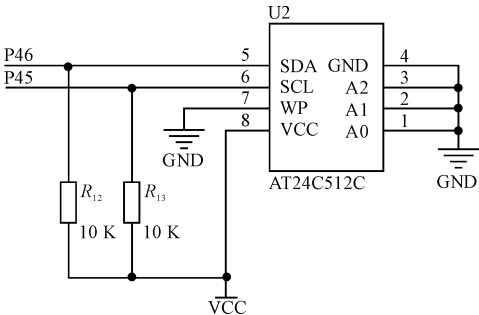


图 5 AT24C512C 典型接口电路图

2.4 USB 通讯、下载模块

轮胎台架实验中,由于测试工况和要求的不同,有时需要对胎压采集系统的采样时间长度、采样频率等参数做出适当地调整,同时也为了能够获取实验过程中保存在 AT24C512C 中的数据,便于后期的数据整理,本研究预留了相应的程序下载和串口通讯电路,增强了采集系统的灵活性。笔者采用国产的 CH340T 的

供电,并利用芯片 LM1117-3.3 及外围电路得到3.3 V,给主控制器供电。

3 系统软件设计

胎压采集系统在进行软件设计时,充分利用单片机 MSP430F149 的低功耗特性,系统对胎压数据的采集和保存使用中断的方式进行。空闲状态时,系统工作在低功耗模式 3,这样系统在大多数时间均处于休眠状态,大大降低了系统功耗^[8-9]。

软件设计主要包括主程序、系统初始化、胎压数据采集、胎压数据储存等模块的设计,整个程序流程如图8所示。

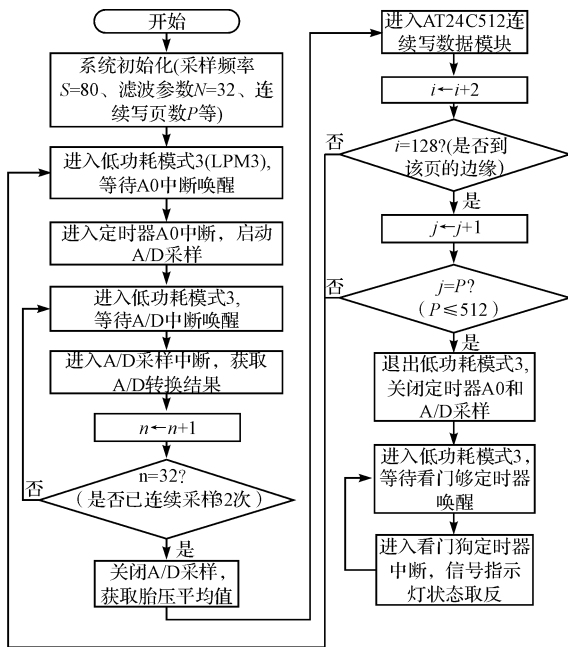


图 8 系统工作流程图

系统上电后,首先对 MSP430F149 的看门狗、时钟系统、定时器 A0、A/D 转换器和 AT24C512C 等进行初始化,然后使系统进入低功耗模式 3 状态。在程序设计时采用中断服务程序的结构来完成相应的处理。系

该胎压信号采集系统是混合电压系统,且有两种供电工作方式:3 V 纽扣电池供电和 USB 接口供电,两种供电工作方式的切换是通过一个双刀双投的轻触开关来实现的,当轻触开关拨到上部,开关 1、4 引脚连通,此时切换到 3 V 纽扣电池供电状态,当轻触开关拨到下部,开关 2、4 引脚连通,此时切换到 USB 接口供电状态。3 V 纽扣电池供电用于轮胎台架实验过程中胎压信号的动态采集,USB 接口供电则用于实验前不同测试程序的下载和实验后串口通讯时实验数据的获取。MSP430F149 单片机和 AT24C512C 储存芯片要求 3.3 V 供电,YSC-01 陶瓷集成压力传感器和 CH340T 是 5 V 供电。

3 V 纽扣电池供电工作方式下,纽扣电池直接给 MSP430F149 供电,并通过芯片 L6920 升压 5 V,给 YSC-01 压力传感器供电,L6920 是一款高效升压控制器,外围仅需很少的元件就可实现将电压转换到所需的输出电压,特别适用于电池供电的场合;3 V 纽扣电池选用索尼的 CR2450 纽扣电池,它具有高容量、性能稳定、自放电率低等特点,能够满足采集系统的要求。USB 供电时,可直接给 CH340T 和 YSC-01 压力传感器

统通过单片机定时器 A0 设置胎压采样系统的采样频率为 80 Hz,当定时器 A0 产生中断时,将 CPU 从休眠状态中唤醒,进入定时器 A0 中断服务函数,启动 A/D 转换,然后再次进入休眠状态,等待 A/D 转换中断的唤醒。当内部 A/D 转换结束时,进入 A/D 中断服务函数,读取 A/D 转换数据;为了保证测量数据的准确性,系统采用算数平均滤波法,当 A/D 连续转换 32 次时,关闭 A/D 转换,将前面 32 次的转换结果加和平均,计算得到最终的胎压数据,随后进入胎压数据存储模块函数,完成一次胎压数据的采集和保存过程,再次进入休眠状态,等待定时器 A0 中断的再次唤醒,重复上述的过程。在进入胎压数据存储模块函数时,系统是采用页写入方式连续的往 AT24C512C 中写数据,AT24C512C 的每页有 128 个字节,一共有 512 页,而 MSP430F149 的 A/D 转换结果要占用两个字节的空
间,当连续写 64 次胎压数据后,就要切换倒下一页的首地址,重新开始页写入方式,当到达系统设置的页数或 AT24C512C 已写满,就关闭定时器 A0 和 A/D 采样模块;最后使信号指示灯进入间歇性点亮的状态,标志着胎压数据采集和保存的整个过程已完成。

4 胎压采集系统的功耗分析

胎压采集系统在采集胎压信号的过程中,由 3 V 纽扣电池供电,整个采集系统的电源消耗主要由 MSP430F149 控制芯片功耗、AT24C512C 存储芯片功耗和 YSC-01 压力传感器功耗三大部分组成。对于 MSP430 系列芯片来说,片内集成了许多外围模拟模块,片内外设的工作状态对整个系统的能耗有很大影响,但模拟部件的功耗在不同频率下几乎保持不变^[10]。在 3 V 的工作电压下,如果所有的模拟外设都被允许,则所消耗的典型模拟电流在 1 mA 左右,而胎压采集系统在实际地应用中主要用到了 A/D 模拟模块,这部分消耗的模拟电流大约为 0.85 mA。频率对模拟模块的供电电流几乎没有影响,但对数字电路的供电电流有很大的影响,为了降低系统的功耗,本研究采用 MSP430F149 芯片内部自带的 DCO 振荡器,同样在 3 V 的工作电压,且处于活动模式下,当 $f_{(MCLK)} = f_{(DCOCLK)} = 1$ MHz 时的典型总电流为 420 μ A。不同的

低功耗模式下供电电流的差别也十分明显,在软件部分设计时,系统大部分时间处于 LAMP3,此时的典型总电流为 1.6 μ A,系统功耗得到进一步降低。因此 MSP430F149 控制芯片消耗的总电流大约在 1 mA。对于 AT24C512C 存储芯片来说,在写状态下有最大电流 3 mA,在不进行读写时的最大维持电流为 3 μ A。YSC-01 压力传感器由 5 V 恒压供电,内部电阻为 10 k Ω ,消耗的电流为 500 μ A。系统选用的 3V-CR2450 的纽扣电池具有 550 mAh 的高容量,则有最短使用时间 $T_{\min} \approx 550 \text{ mAh}/4.5 \text{ mA} \approx 122.2 \text{ h}$,最长使用时间 $T_{\max} \approx 550 \text{ mAh}/0.546 \text{ mA} \approx 1\,007.3 \text{ h}$,故该纽扣电池能够满足胎压采集系统在大多数轮胎实验的功耗需求。

5 系统实验

5.1 系统性能实验

为了验证胎压采集系统的可靠性,本研究采用综合精度为 ± 3 kPa 的电动胎压充气泵对实验轮胎进行充压,轮胎充气压力依次为 20 kPa、80 kPa、160 kPa、220 kPa、350 kPa 和 480 kPa,待压力稳定后,进行胎压采样实验。在 0 ~ 500 kPa 压力变化时,每组实验数据都在标准值的 ± 3 kPa 范围内波动,这是合理的误差范围,表明胎压信号采集装置的性能可靠,能够满足胎压测量的准确性要求。测试数据如表 2 所示。

表 2 系统性能试验数据表

序号	标准值/kPa	采样值 1/kPa	采样值 2/kPa	采样值 3/kPa
1	20	18.5	21.3	22.7
2	80	80.7	81.4	78.6
3	160	161.5	160.3	159.2
4	220	220.6	221.9	220.2
5	350	348.2	348.7	350.1
6	480	480.3	478.1	480.6

5.2 道路试验

胎压采集系统样机制作完成后,本研究在室外选择一段中间平整度较差、两头相对平坦的路面进行实车测试,观察轮胎胎压的动态变化情况,试验车辆轮胎初始气压为 250 kPa,试验完成后,将系统采集到的数据进行处理,绘制的胎压瞬态变化曲线如图 9 所示(其中:虚线—轮胎初始内压,实线—轮胎动态胎压)。

(下转第 753 页)

本文引用格式:

谢伟东,李仁庆,刘振华. 基于 MSP430F149 的胎压采集系统研究[J]. 机电工程,2016,33(6):744-748,753.
XIE Wei-dong, LI Ren-qing, LIU Zhen-hua. Research of tire pressure collection system based on MSP430F149[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(6):744-748,753.
《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>