



基于 MSP430 单片机的膛压测试系统设计

张小琴 祖 静 张 瑜

(中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室 太原 030051)

摘 要: 介绍了一种基于 MSP430 单片机的小型膛压测试系统的设计。该测试系统体积小、能够承受 600 MPa 的压力、功耗低、可以用电池供电,不需要外部引线,适用于中小口径火炮的膛压测试。可以在现场实时实况的记录被测弹体的相关动态参数,并能够在系统掉电的情况下保持测试所得的数据,以便于回收后准确的回放所记录的数据以供分析。同时介绍了此测试系统的硬件软件设计,并对整个系统的状态转换进行了详细的分析,给出了该测试系统的典型应用。

关键词: 膛压测试; MSP430; 状态设计

中图分类号: TN06 **文献标识码:** B

Chamber pressure testing and measuring system based on MSP430 MCU

Zhang Xiaoqin Zu Jing Zhang Yu

(Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement Ministry of Education,
North University of China, Taiyuan 030051)

Abstract: The paper introduces the design of micro chamber pressure testing and measuring system based on MSP430. The size of the system is small, and it can withstand the pressure of 600MPa. It has very low power consumption, can be battery-powered and need no external lead. It can be used in testing and measuring chamber pressure of the small and medium caliber artillery. It can record real-time data of the movement information of the object being measured at high sample rate and store those data forever, even if the power supply is shut off. When the recorder is recovered and powered again, the former data could be transferred out correctly. In addition, this article introduces the hardware and software design of the system, and has a detailed analysis of the state transition of the entire system and presents a typical application.

Keywords: chamber pressure testing and measuring; MSP430; design of state

0 引 言

火炮射击时的膛压是火炮武器系统的重要内弹道参数,膛压测试对常规兵器的研究设计和生产验收极其重要。目前,法定的火炮膛压测试方法有铜柱(球)法和引线电测法。铜柱(球)法只能测出膛压的最大值,无法了解整个射击过程中膛压的变化规律。引线电测法是通过在药筒底部安装压力传感器,由电荷放大器和瞬态记录仪测试记录,实现对膛压信号的测试,其特点是准确度高,可获得膛压一时间曲线,完整地反映火药燃烧规律,但要在炮身或药筒上打孔安装传感器,操作不便,应用受到限制。本文研究的膛压测试系统具有体积小、无引出线、使用方便、测试精度高、可重复使用等特点,是一种理想的火炮膛压测试仪器。

1 测试系统的硬件设计

此系统在 MSP430 单片机程序的控制下,可经过 0~80 h 的预置时间,以 125 Ksps 的采样频率采样 A/D 转换器,并将 A/D 转换出的数据存入到存储器中,在触发信号到来以前,由倒置开关启动测压器进入采样状态,触发信号到来后,连续采样 56 kW 数据结束采样。当电路回收后,可通过 RS232 接口将存储器中的数据读至计算机,以便后处理。

1.1 主要器件的选择

TI 公司的 MSP430 系列单片机具有超低功耗的特点,电源电压采用 1.8~3.6 低电压,活动耗电 250 μ A/MIPS,根据不同的功能模块可以采用不同的工作模式,通过合理的编程即可以降低系统功耗。不同的 MSP430 系列单片机的不同型号针对不同应用领域,集成了丰富的外围模

块^[1-3],包括:看门狗(WDT)、模拟比较器A、定时器A(Timer-A)、定时器B(Timer-B)、串口0、1(USART0、1)、8路10/12/14位ADC、12位的DAC、端口1~6、基本定时器(Basic Timer)等。还具有系统工作稳定,开发环境便捷等特点^[1-2]。因此可见,MSP430系列单片机本身就是一个内嵌MCU的高性能数据采集系统。为了减小系统的功耗,可以给系统提供较小的电压,但是这样又会减小系统的持续工作时间。应用电源管理芯片^[4-5],给单片机提供固定的电压。既能满足单片机正常工作要求,又可以减小功耗。本设计给单片机提供2.8V固定电压。

与计算机的通信采用串口异步通信,RS232协议需要转换电平。本系统采用MAX3232芯片实现单片机TTL电平与计算机接口电平的转换^[6-8]。

1.2 硬件电路的设计

如图1所示,测试系统由信号采集传感器模块、适配放大电路模块、单片机、以及串行接口组成。为了最大限度地减小测试系统的体积,在测试系统中仅留下串行接口,RS232串行接口电路作为联接附件独立出来,作为连接测试系统与PC之间的桥梁^[9]。

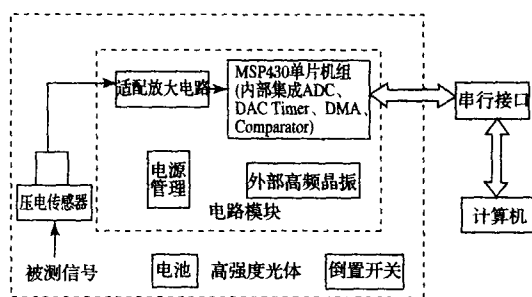


图1 测试系统组成原理框图

倒置开关是本设计中一个非常关键的器件,接通电源时,系统只是处于值更状态,只有倒置开关倒置,并且延时30后,系统才会真正上电开始采样,这样有利用高低温实验,系统可以在倒置开关不倒置时与弹一起保高低温,此时系统处于低功耗状态,功耗很低仅为0.5μA。

传感器输出的信号经过适配模拟电路模块,转换成0~1.5V的电压信号,由ADC口进入MSP430单片机的模拟输入通道,由单片机内部所带的ADC转换成数字量。

由于测试系统采用类似于“黑匣子”的结构方式,系统的能量供应不能依靠外部电源。在测试系统中,采用了精选的能够满足系统抗冲击要求的单电池供电,通过电源管理芯片将2.8V固定的电压供给测试系统。电池电压为4.1V,容量为28mAh,能够满足测试系统的工作要求。

小体积、低功耗正是测试系统的最大特点。整个测试系统的电路模块及电源可以被封装在直径18mm,长度为32mm的圆柱体内,系统的工作功耗最大为5.7mA。

2 测试系统的软件设计

MSP430单片机的ADC12转换有4种模式。分别是单通道单次转换,单通道多次转换,序列通道单次转换,序列通道多次转换。本设计中采样数据只有一路,采样频率由TA输出的PWM波形控制,所以ADC12的工作模式选用单通道单次转换。

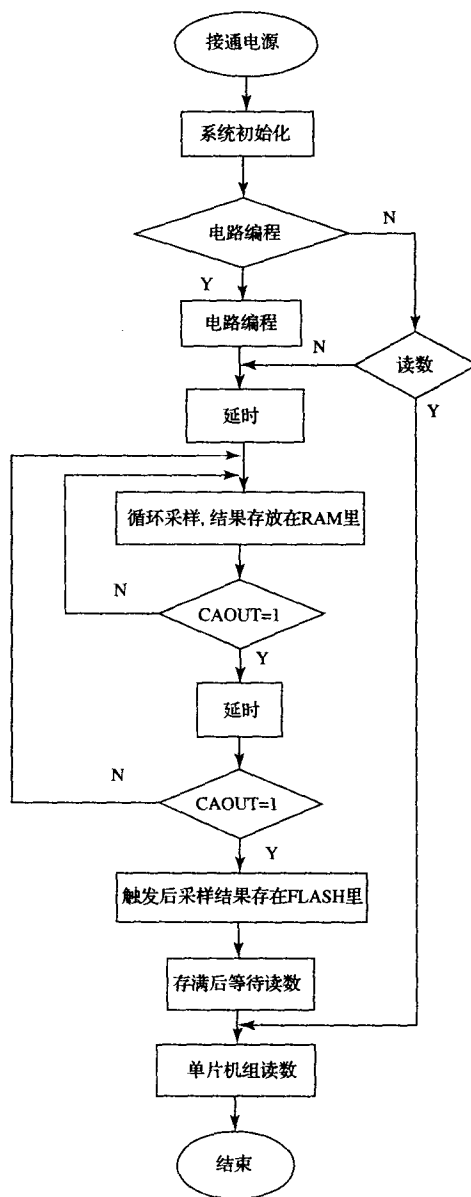


图2 整体流程图

MSP430F15X/16X系列单片机具有DMA控制器,可以直接将ADC转换寄存器的内容传送到RAM或FLASH单元,DMA具有来自所有外设的触发器,不需要CPU的干预即可提供最先进的数据传输能力,DMA消除了数据传输延迟时间以及各种开销,既可以达到提高传输

速度又可以减小功耗,所以本设计中采用 DMA 方式传输, DMA 的触发源为 ADC12IFG,目的地址为 RAM 或 FLASH 存储单元。

经过 ADC 转换的采集数据利用 DMA 方式触发前存在内部 RAM 中,触发后存在内部 FLASH 中。预先设定好的触发值置于 DAC12DAT 中,经过 DAC 转换为模拟量,此模拟量作为比较器的 CA1,适配模拟电路的输出作为比较器的 CA0。当 $CA0 > CA1$ 时 CAOUT 置 1 此测试系统触发。本设计中为防止误触发,在 $CA0 > CA1$ 后又延时一段时间检测 CAOUT。若 CAOUT 置 1 表示是真正的触发信号,在此后的数据全部存在 FLASH 里。若 CAOUT 置 0 表示是误触发,此后的数据还继续存在 RAM 里直到真正有触发信号。

3 测试系统的状态设计与分析

所谓状态设计,是根据被测对象的运动规律确定存储测试系统状态组织结构的过程。它是实现功能设计的关键一环,是硬件设计的依据,也是建立基型存储测试系统的有效手段。状态设计可以使设计思想清晰地贯穿于设计和调试的始终,可以不同程度地简化原本复杂的设计过程。

系统接通电源后,单片机处于知更状态,等待倒置开关的倒置信号,此时系统处于低功耗模式 4,消耗的电流仅为 $0.5 \mu\text{A}$ 左右。

当插上读数口时,单片机的一个 I/O 口接收到一个上升沿后,开始初始化串口,使能接受和发送,当计算机发的第一个数为 0 时表示要进行读数,为 1 时表示进行编程。读数时读取的是上一次采的数,编程主要是对触发值进行编程。编程或读数完成之后,拔读数口,此时在同一 I/O 口产生一个下降沿,关闭串口,系统进入低功耗模式 4。

当倒置开关作用时,单片机启动一个 16 位的定时器开始定时,每隔 1 s 判断一次开关的状态,一直判断 30 s,如果在此期间开关的状态一直保持稳定,则系统开始采样并存储数据,否则又会返回超低功耗的知更状态,这样可以排除倒置开关的误动作使系统误上电。

当系统开始采样后,每次采样结束后,单片机都会将采样结果通过 DMA 存放在内部 RAM 里, RAM 的存储容量固定 2 kW,循环采样直到触发信号来。此后的采样结果存放在内部 FLASH 中,存储容量通过 DMA 的传输规模 DMASZ 设定。采样结束后再将 RAM 里的数据导在 FLASH 里,保证系统下电后数据不丢失,之后系统又进入低功耗模式 4 等待读数,此时系统的功耗为 $98 \mu\text{A}$ 左右。

在等待读数态时,接上读数口后,单片机的一个 I/O 口接收到一个上升沿后开始初始化串口,使能接受和发送,当计算机发的第一个数为 0 时表示要进行读数,读数完成之后串口不关闭,等待下一次读数命。拔读数口,此时在同一 I/O 口产生一个下降沿,关闭串口,系统进入低

功耗模式 4,等待下次读数或系统下电。

系统的状态转换图如图 3 所示。

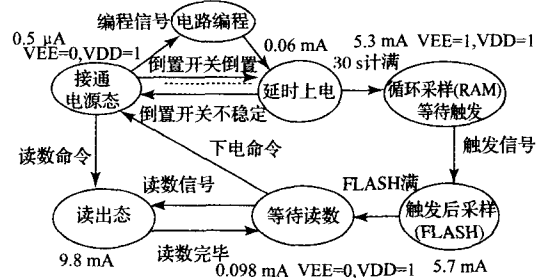


图 3 状态转换图

4 实验结果及数据分析

图 4 为一典型的膛压信号测试曲线。由此图可以方便的了解火炮整个射击过程中膛压的变化规律。最大膛压值为 272.695 MPa,最大膛压时间为 25 ms,持续时间为 80 ms,并且经过数据处理后可以得到每一个时间点的对应的膛压值。由此得出此测试系统达到了预定的目标,具有很好的实用性。

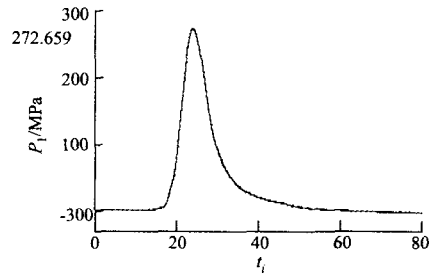


图 4 某弹膛压测试曲线

5 结 论

本系统充分利用了 MSP430 系列单片机内部资源,简化了电路设计,并能使测量结果达到较高的精度;而且由于 MSP430 单片机超低功耗的设计,系统的功耗很小。实验证明测试数据准确可靠,为常规兵器的研制和生产验收提供了重要依据,在靶场试验中推广使用必能取得良好的社会和经济效益。

参 考 文 献

- [1] 沈建华. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004:1-285.
- [2] Texas Instruments Incorporated. Msp430x1xx Family User's Guide[Z/OL]. <http://www.msp430.com>.
- [3] 蔡伟,李敏,黄先祥. 采用 MSP430 的绝缘子远程监测系统[J]. 电子测量与仪器学报,2002,16(3):13-16.

(下转第 157 页)

4 结 论

本文利用GPS信号的循环平稳特性,研究了谱相关理论在GPS信号参数估计中的应用,给出了载波捕获和伪码捕获的新方法。根据零频率的循环谱包络最高峰估计载频;根据载频处的循环谱包络的峰值估计出伪码速率;最后,根据循环频率为两倍载频处的循环谱所对应的幅频和相频特性估计初相,由此实现了对GPS信号载波和伪码的参数估计,完成了GPS信号捕获的过程。仿真结果表明,这种估计方法可以在扩频码序列不可知的情况下,通过两次一维的搜索完成高精度的参数估计,避免了多维搜索,提高了计算效率,且适用于存在平稳噪声的低信噪比环境。

参 考 文 献

- [1] GARDNER W A, SPOONER C M. Detection and source location of weak cyclostationary signal: Simplification of the maximum-likelihood receiver[J]. IEEE Trans, 1993, COM-41(6):905-916.
- [2] GARDNER W A. Measurement of spectral correlation [J]. IEEE Trans, 1986, ASSP-34(5):111-1123.
- [3] MAZZENGA F, VATALARO F. Parameter

estimation in CDMA multiuser detection using cyclostationary statistics[J]. Electronics Letters, 1996(2):179-181.

- [4] POLYDOROS A, WEBER CL. A unified approach to serial search spread-spectrum code acquisition, Part I: General theory [J]. IEEE Trans Communication, 1984, 32:541-549.
- [5] 黄俊, 罗钧. 基于GPS/DR的嵌入式车载导航系统研究[J]. 仪器仪表学报, 2005, (S2).
- [6] VAN NEE D J R, COENEN A J R M. New Fast GPS Code acquisition Technique Using FFT [J]. Electronics Letters, 1991, 27(17).
- [7] DESHPANDE S M. Study of Interference Effects on GPS Signal Acquisition[D]. Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, 2004:30-46.
- [8] 黄春琳, 柳征. 基于循环谱包络的扩谱直序信号的码片时宽、载频、幅度估计[J]. 电子学报, 2002, 30(9):1353-1356.

作 者 简 介

谢皓,女,1984年9月出生,硕士研究生,主要研究方向为GPS接收机的理论研究与实现、扩频通信等。

E-mail: ashlay.xie@gmail.com

(上接第152页)

- [4] 江小华,李豪杰,张河. 基于微控制器的微型存储测试系统的设计[J]. 仪器仪表学报, 2002, 23(6):588-591.
- [5] 周华,徐华,朱均. 低功耗仪表设计初探[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(4):374-377.
- [6] 苏维嘉,王旭辉. 基于MSP430单片机的数据采集系统[J]. 现代电子技术, 2007, 23(262):117-119.
- [7] 刘福才,王冬云,张海良. 基于VB和MSP430单片机的太阳能电站监控系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2006(6):1-4.
- [8] 胡迎春,苏燕辰,张晶. 超低功耗数据采集系统的设计[J]. 中国测试技术, 2007, 33(5):1-3.
- [9] 江小华,李豪杰,张河. 小型弹内存测试系统研究[J]. 弹道学报, 2002, 14(2):57-61.

- [10] 张卫杰,侯孝民. 高速大容量数据采集系统设计与实现[J]. 电子测量与仪器学报, 2005, 19(4):51-55.

作 者 简 介

张小琴,女,1983年1月出生,汉族,现为中北大学信息与通信工程学院2006级在读硕士研究生,主要研究方向为动态测试与智能仪器。

E-mail: www.warm125@163.com



祖静,男,教授,博士生导师,教育部重点实验室学术委员会主任,恶劣环境动态参数测试理论与技术方向带头人。