

微型电子测压器的高采样频率设计

注：国家重点实验室基金资助项目(项目编号：9140C120704070C12)

摘要：为了满足多种火炮和弹箭内弹道压力参数测试的需要，研制了高采样频率的微型化电子测压器。为了提高系统的采样频率，通过用两片单片机交叉采样的思路来实现，使采样频率提高了 2 倍，达到了 125kHz。从器件选择上和多层电路板的制作上对测压器进行了微型化设计。同时，根据国军标及试验勤任务的要求，在进行膛压测试前可能需要对弹药在低温和高温两种状态下进行 48h 以上的保温，因此，在微型化设计上要兼顾低功耗，为测压器在常、高、低三种温度状态下的正常工作提供可靠保证。

关键词：高采样频率；微型化；低功耗；膛压测试

中图分类号：TM930.12

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2011)07-0017-05

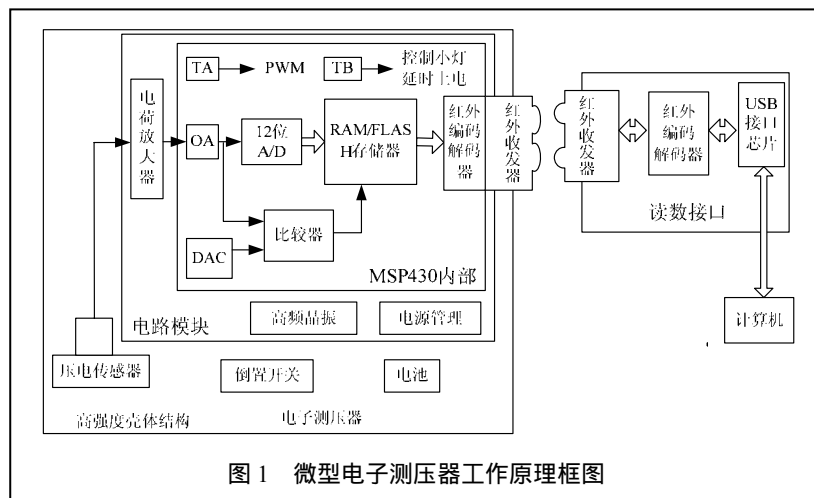
孙正席 刘洋 代月松 董力科 陈昌鑫

一、引言

目前的测压系统能够实现对大中口径火炮的测试，而且采样频率都比较低，采集的数据绘制的膛压曲线不能真实的反应出火炮整个射击过程中膛压的变化规律，而对于大部分中小口径，尤其是小口径火炮则无能为力。同时新型身管武器与新型弹药的研制、定型、试验等过程也都需要测试膛内压力、内弹道参数。由于部分身管武器口径的限制，对于测试仪器的体积和采样频率提出了更高的要求，因此研制高采样频率微型化仪器以适于小口径火炮和身管武器膛内压力测试的已经迫在眉睫。针对这种情况，本文对电子测压器进行了高采样频率和微型化设计。

二、微型电子测压器的组成及工作状态转换

微型电子测压器由壳体、压电式压力传感器、硬件部分和片内程序组成，其中硬件部分包括电池、倒置开关、电源管理器、电荷放大器、8 MHz 晶振、外置红外收发器和两片 MSP430 单片机，并且给出了主单片机片内资源的利用。系统通过红外接口，将采集的数据上传到计算机，然后对数据进行处理分析（见图 1）。微型电子测压器系统工作状态转换过程如图 2 所示。



1、接通电源态

系统上电后，可以相应三种状态：

通过红外接口的初始化工作读取 CPU 存储器内上次存放的数据；

响应上位机的编程命令，对系统实现编程操作；

等待倒置开关的上电延时信号，进行上电延时。

2、电路编程状态

在此状态下，系统通过与上位机之间的通信完成对电路模块采样频率、触发电平以及测量量程的编程工作。完成编程后系统可自动进入接通电源态，等待倒置开关的上电延时命令。

3、延至上电状态

在此状态下，系统要实现 30s 的延时。前 20s 要对上电信号进行不间断的判断，等待真的上电命令。当延时到 25s 和 30s 时，系统分别要采集压力值和电池电量。30s 后进入下一个等待触发状态。

4、等待触发态

此时单片机要对腔内的压力信号进行不停的循环采集，并在 DMA 的参与下将采集到的数据存入静态存储器中，直到系统触发。

5、触发后采样

模拟比较器中断的到来宣告了触发时刻的到来，此时系统将采集到的数据存入 Flash 中，直到 Flash 里的数据达到设定值。当数据存满后，系统进入低功耗 LPM4。

6、读出态

此时系统等待接收上位机发送的读数命令，当接收到命令后系统主从两片将分别将存储在 Flash 内的数据，通过红外通讯接口发送给计算机。数据发送完系统将一直处于等待读数态，直至下一次状态改变命令的到来。

三、高采样频率的设计

1、采样策略

在本测试系统中，为了提高系统的采样频率，选用了用两片单片机交叉采样的思路来实现，因此本系统选择用主单片机定时器产生一路 PWM 方波信号，主单片机在方波的上升沿采样，从单片机在方波信号的下降沿采样，这样就可以将其采样的频率提高一倍。主从单片机将各自采集的数据提交给计算机，计算机中的相应软件完成对采集数据的组合，画图显示真实的曲线，其采样实现的示意图如图 3 所示。

的曲线，其采样实现的示意图如图 3 所示。

由图 3 可以看出，PWM 方波信号的占空比为 0.5，同时在采样时选用了统一的基准，这样是为了降低 ADC 采样引起的误差。PWM 的方波信号是由单片机的 TA 定时器产生的，通过调节 TA 中 CCR0、CCR1 的值可以得到准确的占空比。

2、握手协议的设计

为了提高系统的采样频率，系统采样时选用了两片单片机。这两片单片机分别对信号进行独立采集和存储，由于其工作的过程是相互联系的，而且对信号的采集分别在主片定时器产生的 PWM 方波的上升、下降沿进行的。因此，主从单片机间的配合要紧密合理，才能保证测试过程的顺利完成。主从单片机间的握手信号如图 4 所示。

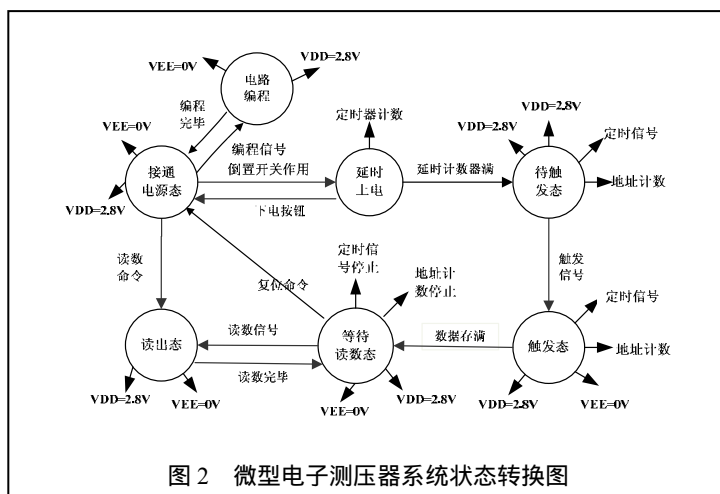


图 2 微型电子测压器系统状态转换图

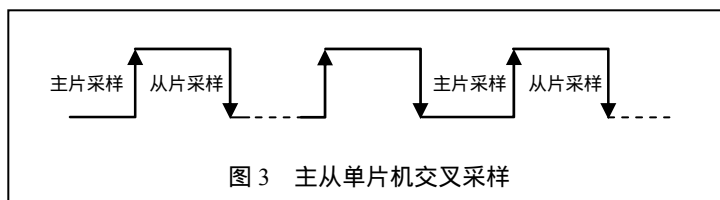


图 3 主从单片机交叉采样

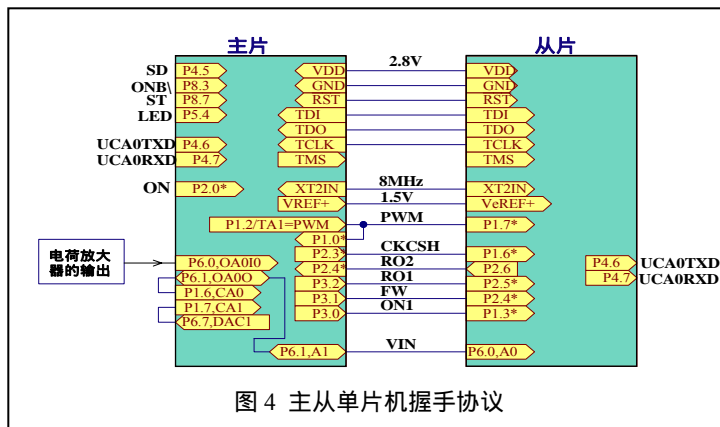


图 4 主从单片机握手协议

On1 : 此标志为主单片机在延时 30s 后发给从单片机的, 当接收到信号后从片完成其内部 Flash 擦除、时钟的初始化等工作为信息的采集与存储做准备。

FW : 此标志具有双重功能, 当其判断是触发信号到来时, 主片发给从片发触发标志, 从片检测到此标志时, 就开始将采集的数据往 Flash 单元中存储, 即开始延迟计数。否则, 判断为编程后的口系统初始化, 关闭外部时钟, 初始化各 I/O。

PWM : 此信号是由主单片机内部的 Timer-A 定时器产生的方波, 主从两片单片机要分别在其上升沿与下降沿完成信号的采集存储。

CKCSH : 此信号为系统的红外端口的初始化信号, 当其电平由高变低时系统就会进入待读数状态或者待编程态, 等待上位机发送读数或者编程命令, 进而完成对系统的操作。

RO1 : 系统采集存储完毕后, 需要将数据读出, 先将主片的数据依次读出, 读完后, 主片向从片发出 RO1 信号, 目的是告诉从片将存储到的数据发给计算机。

RO2 : 此信号是从片在发送完其内部存储器 Flash 中的数据后发给主片的, 目的是告诉主单片机从片已经完成数据的发送工作并进入到待读数态, 也使主片进入到待读数态, 等待下一次的读书命令。

四、微型化和超低功耗设计

1、传感器结构的优化

传感器选用了 KISTLER 公司的石英高压传感器 6215BAQ01。该传感器端面密封, 能承受很高的压力, 适于各种内弹道所有爆炸压力测量和测量安置, 传感器可与隔热盘或膜片同时安装。6215BAQ01 是 6215BA 的改进型, 改进后的传感器体积更小、承受压力范围没有改变, 更有利于壳体与传感器的结合, 实现结构一体化。6215BA 型总体长度为 37.3mm, 而改进后的传感器总长度仅为 14.95mm。

2、电池结构的微型化

根据国军标及试验勤务的要求, 在进行膛压测试前可能

需要对弹药在低温和高温两种状态下进行 48h 以上的保温, 电子测压器必须在弹药保温前装入药筒内, 随弹药一起保温, 因此电池的电量必须要满足整个试验过程的要求。在保低温时, 电池的容量会大大减少, 在 -40 时比常温下降一半以上。为确保电子测压器在常、高(50~55)、低(-40)三种温度状态下能正常工作, 且连续工作电流大于 6mA, 同时要求体积尽可能小, 因此订做了小体积聚合物锂离子电池作为测压器的专用电池。此种聚合物锂离子电池尺寸为 4.0mm×10.0mm×20.0mm, 并且具有过充、过放、过流保护功能; 常温下电量为 45mAh, 可以多次重复使用, 且具有抗冲击、振动等机械作用力的特点。此电池的这些特点, 为电子测压器在常、高、低三种温度状态下的正常工作提供了可靠的保证。

3、电源控制器

对于系统各部分单独供电的管理, 为系统低功耗的实现提供了保障。当采用电源分支管理时, 可以消除无效损耗, 达到节省功耗的目的。其具体实现方法为: 将模拟适配电路、外部高频晶振以及单片机组采用独立供电的方式, 对于各个模块在不同状态下是否需要工作的状况, 选用通过单片机控制各独立电源的打开与关闭, 为其提供电源或者切除电源, 从而达到省电的目的。本系统选用了 National Semiconductor 公司生产的 LP5996 系列中的 LP5996-2828 型号作为电源管理芯片, LP5996 仅为 3mm×3mm 的小封装体积, 使得其更加适合微型化仪器的适用。而且其有着双线调节电压输出的功能, 可以驱动 150mA 和 300mA, 显示了较强的驱动能力。但当 LP5996 不输出电压时, 其 0.5nA 的电流消耗, 让其具有的低功耗特性又更加凸显出来, 这样低功耗的芯片也更加适合系统的要求。

正是由于电源管理 LP5996 的以上特点, 使得其在电路印制板中占用的面积减小, 也更加有利于实现系统的微型化设计。LP5996 在系统中的应用如图 5 所示, 采用电池给 LP5996 供电, 两使能端 EN1 和 EN2 分别控制输出 VOUT1 和 VOUT2, 也即 VDD 和 VEE。

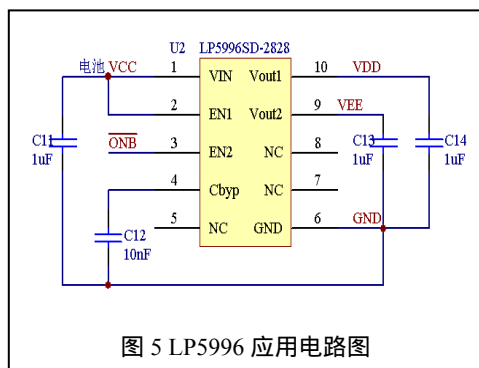


图 5 LP5996 应用电路图

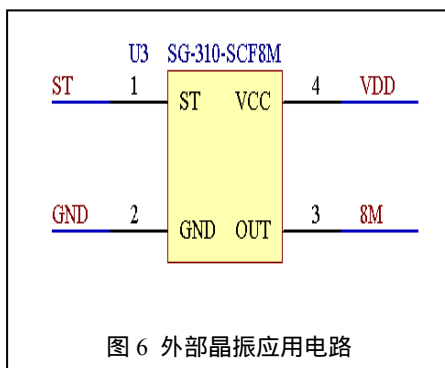


图 6 外部晶振应用电路

4、时钟

电路外围晶振选用了 Epson 公司的芯片 SG-310-SCF8M。其供电范围为 2.7V~3.6V, 可以适用于上面选择的电源管理输出的 2.8V, 并且温度范围广, 在 -40~85 之间均能正常工作, 能够抵抗高低温环境的考验。此外其还有一个使能端, 只有此使

能端有效时,晶振才会输出 8MHz 的时钟。在本设计中,选择用单片机的 I/O 口控制其使能端的开启与关闭,当 ST 端为高电平时,OUT 端就会输出 8MHz 的时钟供给系统电路。如图 6 所示,为其应用电路。通过这种时钟交互使用的方法,从而有效地降低了测压器功耗。

在用于 20s 延时和低功耗 LPM4 时,系统对于时钟的频率要求不高,功耗要求极低,因此系统时钟选择了内部时钟,并将其频率 8 分频,选用最低工作频率。

在采集模块 ADC 工作和红外数据通信等应用场合,对于系统时钟的要求很高,此时选择开启 XT2CLK 外围 8M/Hz 高频晶振。在满足系统工作需要的情况下,将时钟主频率降到最低。在擦除内部 Flash 存储单元和 ADC 周期性采集信息达到 125 KSa/s 时,系统主频时钟选用 8/3MHz,红外数据通信时系统选择 8MHz 主频率作为系统时钟。

5、电路模块

电路模块是系统中最为重要的部分,其体积的大小对系统体积的影响是至关重要的。随着 SOC 技术的发展,芯片的固件化、集成度也越来越高。MSP430XG461X 系列的单片机具有较高的集成度,而且采样频率高、内部存储器丰富、功耗较低。并且针对 MSP430F461X 系列单片机具有 BGA 封装,体积 7mm×7mm×0.8mm。这些特点更适合微型化、低功耗的要求。

对于电路 PCB 板的制作,本系统选择六层板的结构,顶层和底层放置元器件,选择中间层 1、2 进行布线,另外的内层 1、2 进行附铜,选择铺一层地、一层电源 VDD,不仅避免了电磁的干扰,而且节省了走线的长度。合理的布线为版图的制作节省了体积。在选择其他芯片时,尽量选用贴片元器件,对于电阻、电容等贴片元件,宜选用 0402、0603 等微小封装。实现了电路模块的微型化。

6、DMA 内部数据传输

MSP430FG4618 中的 DMA 控制器,能够高速传输单片机内部数据。扩展的 DMA 在不需要 CPU 干预的情况下即可提供快速可配置的数据传输能力,从而加速了基于 CPU 的信号处理进程。在解放 16 位 RISC(精简指令系统计算机)CPU 的同时,降低了数据传输延时和系统功耗。

五、实测结果

图 7 是微型电子测压器产品实物图,其大小为 22 cm³,量程和采样频率编程,最大量程为 600MPa,最大采样频率可达 125kHz,是普通测压器采样频率的两倍。在保证小体积和低功耗的同时,能够较好地完成火炮膛压的测试任务。图

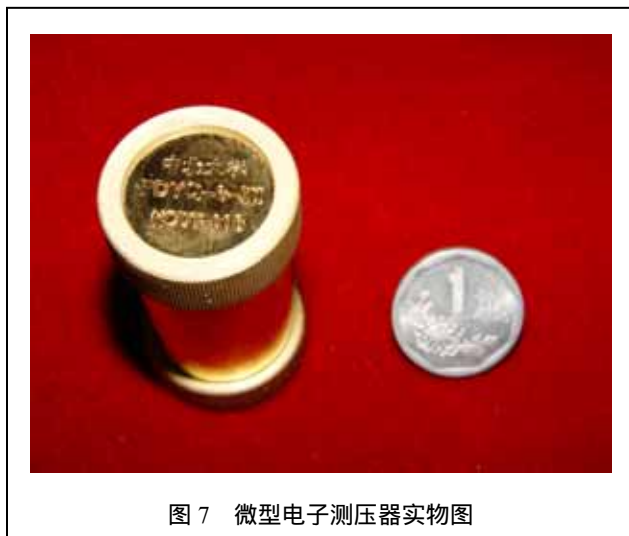


图 7 微型电子测压器实物图

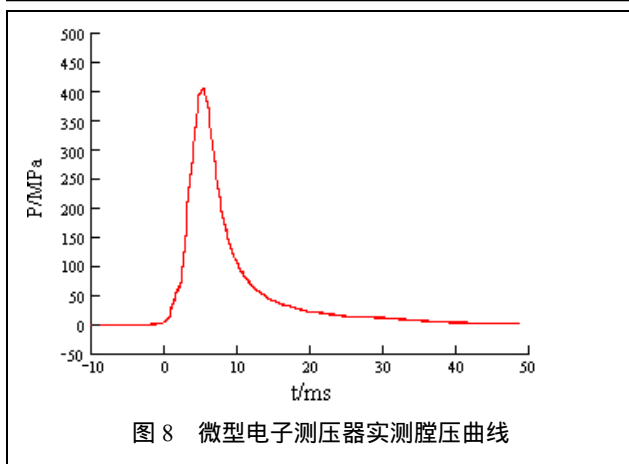


图 8 微型电子测压器实测膛压曲线

8 是某枚微型电子测压器在某试验靶场的实测膛压曲线,其峰值压力约为 414 MPa,同时用铜柱测压法测得的压力峰值约为 413MPa,此次实测试验验证了微型电子测压器测试火炮膛压的可行性和精确性,通过膛压曲线可以清楚的了解火炮整个射击过程中膛压的变化规律,不仅测出了峰值压力,而且可以从膛压曲线得出上升时间和脉宽。准确可靠的测试数据为常规兵器的设计和检验提供了重要的保障。

六、结论

为使电子测压器满足国军标的要求,本文从主从单片机交叉采样和器件选择上和多层电路板制作上进行了高采样频率和微型化设计。其实验结果表明,微型电子测压器能满足国军标的要求,测试数据准确可靠。

参考文献

[1] 祖静,张志杰,裴东兴,等.新概念动态测试[J].测试技术学报,

2004, 18 (6): 1-4.

[2] 张文栋.存储测试系统的设计理论及设计[M].北京:高等教育出版社.2002.

[3] 沈建华.MSP430 系列 16 位低功耗单片机原理与应用[M].北京:清华大学出版社, 2004, 1: 3-8.

[4] LP5996 D μ Al Linear Regulator with 300mA and 150mA Outputs[EB/OL].2007. <http://www.national.com>.

High sampling frequency design of micro electronic piezo-gauge

SUN Zheng-xi, LIU Yang, DAI Yue-song, DONG Li-ke, CHEN Chang-xin

(National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: In order to meet the requirements of ballistic pressure tests for a variety of guns and rockets, a miniature electronic piezo-gauge with high sampling frequency is designed in this paper. By using two microcontroller to take sampling alternately, the sampling frequency is increased to reach 125kHz which is two times faster than before. Miniaturization design is completed successfully in tow aspects of component selection and multilayer PCB production. Meanwhile, according to military specifications and test service requirements, the

ammunition need keep in low and high temperature for 48h before chamber pressure test, the low power consumption should be considered in miniaturization design so as to ensure the electronic piezo-gauge working well in atmospheric, high and low temperature statuses.

Keywords: high sampling frequency ; miniaturization; low-power; chamber pressure testing and measuring

作者简介:

孙正席, 中北大学 电子测试技术国家重点实验室, 硕士, 研究方向: 动态测试与智能仪器

地址: 山西太原尖草坪区学院路 3 号中北大学 660 号邮箱
邮编: 030051

邮箱: 18734921879@163.com

刘洋, 中北大学 电子测试技术国家重点实验室 硕士, 研究方向: 传感器与动态测试

代月松, 中北大学电子测试技术国家重点实验室 硕士, 研究方向: 动态测试与智能仪器

董力科, 中北大学电子测试技术国家重点实验室 硕士, 研究方向: 动态测试与智能仪器

陈昌鑫, 中北大学电子测试技术国家重点实验室 硕士, 研究方向: 动态测试与智能仪器

读者服务卡编号 003