

※煤科总院青年创新基金资助项目※

# 基于 MSP430 的便携式爆破网路检测仪设计

王晓云 周广来

煤炭科学研究总院爆破技术研究所, 安徽省淮北市, 235039

**摘要** 文中针对爆破工作者现场检测电雷管和电爆网路可靠性的需求, 采用美国 TI 公司的低功耗 MSP430F133 单片机, 开发出一款尺寸如手机大小的智能化爆破网路检测仪。介绍了该仪器的系统电路软硬件功能设计方法, 叙述了实现仪器低功耗及轻巧便携的途径, 所开发的检测仪具有体积小、功耗低, 便于携带、使用方便等特点。

**关键词** MSP430; 爆破网路; 雷管检测; 便携式; 低功耗

中图分类号 TD 235.4

文献标识码 A

## Design of Portable Blasting Circuit Inspecting Equipment Based on MSP430

Wang Xiaoyun Zhou Guanglai

Blasting Technology Research Institute of CCRI, Huaibei Anhui, 235039

**Abstract** According to the requirement for reliability of electric detonator and blasting circuit which the worker inspects on the spot, the low-power-consuming SCM MSP430F133 produced by American TI Company is adopted to design a pattern of intelligent blasting circuit inspecting instrument, which is as small as a mobile phone. Methods to design functions of software and hardware of its systematic circuit are introduced, and ways to realize its low power consume as well as its portability are also described. The new equipment is characterized by its small volume, low power consume, portability and convenience.

**Key words** MSP430; blasting circuit; detonator inspecting; portable style; low power consume

## 1 引言

电雷管爆破网路出现异常现象主要是由网络漏电、接线局部短路、接触不良或雷管质量差等原因引起的, 若不能及时排除这些隐患, 会造成爆破瞎炮、丢炮, 甚至出现大面积拒爆, 定向爆破时还会造成抛掷物异向塌落, 不仅影响工程进度和质量, 还对施工环境和作业人员的安全构成极大威胁。GB6722《爆破安全规程》规定<sup>[1]</sup>: “电雷管使用前, 应用专用爆破仪表逐个检测每次爆破所用的电雷管的电阻值; 爆破主线与起爆电源或起爆器联接之前, 必须测量全电路的电阻值”。为了按照规程要求及时发现爆破网路的异常现象并妥善处理, 开发一种体型轻巧、便于随身携带的爆破网路检测仪十分必要。

近年来, 美国德州仪器 (TI) 公司出品的 MSP430 系列单片机, 以其卓越的性能和极低的功耗在智能化仪器仪表设计中得到了广泛的应用。使用 MSP430 为核心构成高性能的微功耗系统, 其电池的使用寿命可以比基于一般 CPU 的系统延长 3~5 倍, 使我们有很大余地可以设计出体型轻巧的便携式仪器<sup>[2]</sup>。本文选用 MSP430F133 所设计的便携式网路电阻检测仪, 具有重量轻、体积小、数字显示、功耗低、使用方便等特点, 经试用, 深受爆破工作者喜爱。

## 2 检测仪系统电路设计

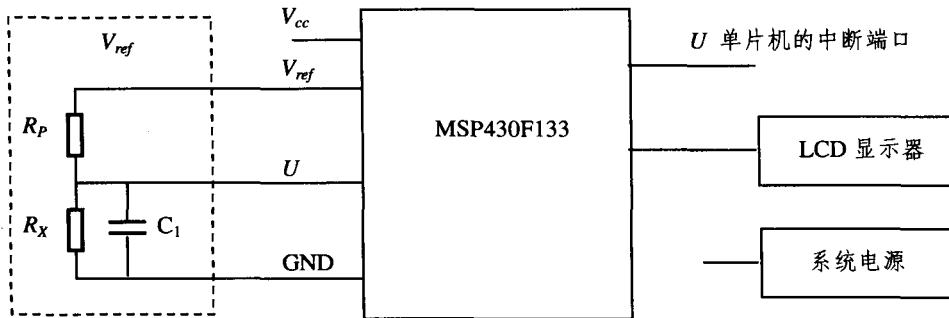
### 2.1 工作原理

整机系统由模拟信号输入、数据处理、数显输出和系统电源四个单元组成, 结构如图 1 所示。在整个电路的信号处理过程中需要完成 A/D 转换、数据处理和显示输出三个环节。其工作原理是, 图中虚线框内由  $R_x$ 、 $R_p$  和  $C_1$  组成的模拟信号输入电路, 利用电阻分压原理, 将被测电阻  $R_x$  上的电压模拟信号直接输入给单片机进行 A/D 转换, 通过单片机对转换后的数据进行校正处理, 校正处理后的数据由单片机控制液晶显示器显示。为使整个系统稳定性达到较高水平, 同时具备重量轻、体积小的特点, 希

望上述功能的集成化程序越高越好, 功耗则越低越有利。

## 2.2 单片机的选型

在考虑仪器便携式设计时, 首先要解决好核心部件的低功耗问题。MSP430 系列单片机在超低功耗方面有突出表现, 同时它内部有丰富的片内外围模块, 是一个典型的片上系统。MSP430 系列中的 MSP430F133, 是一款带有 8 kB Flash Memory 和 256 B RAM 的 8 通道单片机, 含有 12 Bit 带有内部参考电压、采样保持和自动扫描功能的 A/D 转换器, 工作电压范围为 1.8~3.6 V<sup>[3]</sup>。之所以选择 MSP430F133 作为爆破网路检测仪的核心器件, 充分考虑了以下五点因素:



$R_x$  — 被测雷管电阻;  $R_p$  — 固定电阻;  $C_1$  — 高频滤波电容

图1 爆破网路检测仪系统结构示意图

- (1) 微安级的工作电流正好满足便携式仪器使用电池供电的要求;
- (2) 片内 A/D 转换器的数据处理精度高、速度快, 基本满足实时采样的要求;
- (3) 多口输出功能减少了单片机的外围模块使用;

(4) 功耗可以通过开关状态寄存器的控制位来控制。通常情况下使用软件默认 CPU 处于低功耗工作模式下, 测量时使用中断将 CPU 从休眠状态中唤醒, 完成工作之后又进入休眠状态;

(5) 内部嵌有温度传感器, 可以根据它测出的环境温度和系统温度差异对整个仪器系统进行精确的温度数字校正, 使系统在环境温度产生较大变化时仍能稳定可靠地工作。

此外, MSP430F133 还具有系统工作自稳性。上电复位后, 首先由 DCOCLK 启动 CPU, 以保证程序从正确的位置开始执行, 保证晶体振荡器有足够的启动和稳定时间, 然后可以用软件设置最后的系统时钟频率。如果外接晶体振荡器在用作 CPU 时钟时发生故障, 片内 DCO 会自动启动, 以保证系统正常工作。如果程序跑飞, 可用看门狗将其复位。

## 2.3 输入电路及 A/D 转换设计

根据 MSP430F133 所具有的系统资源和仪表系统的要求, 作为电压测量信号  $U$  可直接送入片内的 A/D 转换器。一般来说, 片内的 A/D 转换器为 12 Bit, 所反映的信号变化范围为 0~4095 共 4096 个单位, 基本上能较准确的反映外部信号的变化。由电阻串联电路理论得知, 被测电阻  $R_x$  上的电压  $U$  与固定电阻  $R_p$  和电压  $V_{ref}$  有如下关系<sup>[4]</sup>:

$$U = \frac{R_x V_{ref}}{R_p + R_x} \quad (1)$$

$R_x$  上的电压  $U$  通过 A/D 转换后即可得到对应的数据。为保证测试精度, 应选择合适的固定电阻  $R_p$  值, 使低量程 (0.0~10.0 $\Omega$ ) 上反映出来的测量信号分辨率小于 0.1 $\Omega$ , 高量程 (1000~5000 $\Omega$ ) 上反映出来的测量信号分辨率在 1 $\Omega$  左右。

已知, 当  $R_x = 0$ ,  $U = 0$ ; 当  $R_x \rightarrow \infty$ ,  $U = V_{ref}$ 。对于 12 Bit A/D 转换器,  $V_{ref}^+$  转换成的数字量为 4095。由式 (1) 可得:

$$R_p = \left( \frac{V_{ref}}{U} - 1 \right) R_x \quad (2)$$

当测量单发电雷管的电阻时,取  $R_x=10.0\Omega$ ,选择模数转换值  $U=100$ ,计算得  $R_p=399.5\Omega$ ,实际选择  $R_p=390\Omega$ 。将实际选择的  $R_p$  值代入式(2)进行反演,当  $R_x=10.0\Omega$  时,  $U=102$ ,此时模数转换值  $U$  的一个单位相当于  $0.098\Omega$ ,正好满足测量单发电雷管电阻的精度要求。

当用仪器测量网路电阻时,考虑 500 发电雷管的串联电阻  $R_x=5000\Omega$ ,则  $U=3799$ ,此时模数转换值  $U$  的一个单位相当于  $1.32\Omega$ ,测量精度完全可以满足判断爆破网路联接是否存在异常的要求。

## 2.4 最大工作电流计算

$V_{ref}$  是 A/D 转换器的内部参考电压。A/D 转换器内部参考电压分别为 1.5V 和 2.5V,可以通过软件设置来选择。为了减小测试电路的工作电流,本仪器选用 1.5V 内部参考电压。由上述条件可计算出本仪器的最大测试电流为  $I_{max} = \frac{V_{ref}}{R_p} \approx 4 \text{ mA}$ 。《爆破安全规程》规定,专用爆破仪表的工作电流应小于 30mA。本设计的测试电流远远小于规定限值,对测试使用安全性有绝对保障。

## 3 低功耗设计与仪器小型化

### 3.1 低功耗的实现

对于一个数字系统而言,其功耗  $P$  大致满足以下公式:

$$P = R_x V^2 f \quad (3)$$

式中:  $R_x$  为系统的负载,  $V$  为电源电压,  $f$  为系统的工作频率。由此可见,功耗与电源电压的平方成正比,因此电源电压对系统的功耗影响最大,其次是工作频率和负载。负载对设计人员而言一般是不可控的,因此设计一个确定工作频率的低功耗系统,应该考虑到不影响系统性能前提下,尽可能地降低电源的电压。对于 MSP430 而言,电压适应性很宽,可用的最低电压是很低的,最低可达 1.8V,我们实际采用 TI 公司推荐的 3V 电压为整机供电。

在工作模式上, MSP430 可以通过模块的智能化运行管理和 CPU 的状态组合支持超低功耗的各种要求。CPU 内的状态寄存器 SR 中 SCG1、SCG2、OSC OFF 与功耗有关,可由软件组合成六种工作模式,其中 LPM4 模式的功耗最低<sup>[2]</sup>。在 LPM4 模式下,当单片机进入低功耗时,只有 RAM、端口和寄存器的内容保持,其余全部活动部件停止,且只能由被允许的外部中断唤醒。因此,本仪器最佳的节能方案是选用单片机的 LPM4 模式,设计由模拟信号  $U$  输入到单片机的某个中断端口,即可实现仪器处于测量状态时由休眠被唤醒。

图 2 是实现仪器系统低功耗运行的程序框图。在主程序完成系统初始化后,如果外接电阻  $R_x \rightarrow \infty$ , 2s 后仪器进入低功耗模式,整机电流不大于  $0.4 \mu\text{A}$ ; 如果外接电阻存在,  $6 \mu\text{s}$  后 CPU 自动激活,仪器进入工作模式, LCD 显示出被测电阻的数值,整机电流约  $6 \text{ mA}$ ; 测量结束后 2s, 仪表重新进入低功耗模式。

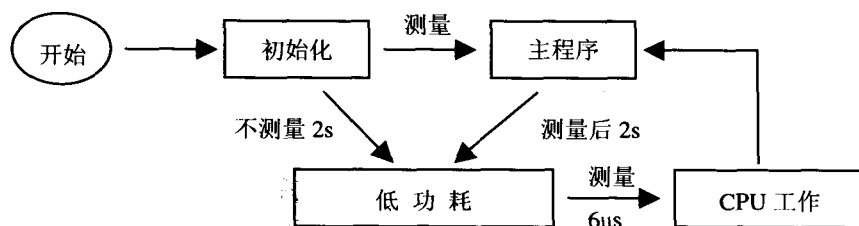


图 2 系统低功耗运行程序框图

