

# 高精度低功耗自动电阻测量仪的设计

张 杰

( 齐鲁师范学院 物理系 山东 济南 250013)

摘要:介绍了采用 R/V 变换的方法实现高精度电阻测量的原理和方法,对电阻测量中误差产生的原因作了分析,在电路设计中加入了电阻筛选功能,采用 MSP430 单片机作为控制电路实现了低功耗。

关键词:低功耗;高精度;MSP430;电阻;A/D 转换;恒流源

中图分类号:TM934.12

文献标识码:A

文章编号:1008-2816(2012)05-0045-04

## 1 引言

在电子系统中,电阻的测量是最基本的测量内容。当前对电阻测量仪设计的要求是测量精度高、数字化、多功能、低功耗、小型化和便于携带。本测量仪使用低功耗和内置 A/D 转换器的 MSP430 单片机为控制中心构成的硬件系统,符合低碳环保的设计要求,是电子测量仪器设计的发展方向。

## 2 设计方案的选择

根据欧姆定律,直流电阻的测量方法主要有两种:一是电流已知,通过测量电压求得电阻;二是电压已知,通过测量电流求得电阻。这里采取第一种方法,也叫作 R/V 变换方法。它的优越性体现在以下几个方面:一是在电阻测量量程一定时,采用反馈式恒流源电路,电阻和电压成线性关系,根据欧姆定律求出电阻值,计算方便;二是有利于提高测量精度,因为在电阻测量当中,由于某种原因引起负载电压变化时,会带来测量误差。设计中采用反馈式恒流源电路,电压的变化经过

电压比较器控制调整管电流使负载电压保持不变,这样可以达到减少测量误差的目的<sup>[1](20-35)</sup>;三是把测量电阻转化为测量电压有利于数字化设计,由于 A/D 转换器是电压型的,需要对模拟电压进行采样,采用 R/V 变换方法,简化了电压测量电路的设计;四是由于 A/D 转换器满量程电压不能变,电阻测量量程改变时,只需计算出相应恒流源的大小,选择不同的恒流源电阻,就能满足 A/D 转换电路的要求。控制电路采用美国德州仪器公司(TI)生产的超低功耗单片机 MSP430FX。

## 3 理论分析与计算

### 3.1 A/D 转换模块

由于目前使用的电阻器最高精度是  $\pm 0.1\%$ ,因此,选用 MSP430FX 单片机内置的 12 位 A/D 转换器,分辨率为  $U_0/4096 = 1/4096 = 0.25\text{mV}$ (假定参考电压为 1 伏),设计各档量程误差为 0.1%即可实现高精度测量的要求。以 100 欧姆量程为例: $0.1 \times 2.5\text{mA} = 0.25\text{mV}$ ,相应各档量程电阻和恒流源电流之间的关系如表 1 所示。

收稿日期:2012-03-29

作者简介:张 杰(1957—),男,河北无极县人,高级实验师。

表 1

量程	100 欧姆	1000 欧姆	10 千欧姆
12 位 A/D	2.5mA	0.25mA	0.025mA

### 3.2 误差分析

电阻测量的相对误差  $= \Delta R/R$  根据误差传递公式,  $\Delta R = \Delta U/I - \Delta IU/I^2$ ,  $\Delta R/R = \Delta U/U - \Delta I/I$  由此看出误差主要来自  $\Delta U$  和  $\Delta I$ 。A/D 转换器参考电压采用内部基准电压, 采样前, 在软件中要设置采样时间, 如果在模拟量还没达到稳定值时就开始采样就会引起误差, 所以  $\Delta U$  主要来自以上电路。 $\Delta I$  是恒流源电流引起的误差, 恒流源模块主要由基准电压源、比较放大器、调整管、采样电阻等部分电路构成<sup>[2] (72-75)</sup>。采样电阻的精度十分重要, 测量仪器温度的变化会使阻值发生变化, 设计时应选择精度高、温度系数小的精密金属膜电阻。 $\Delta I$  的误差还来自基准电压的温漂, 运算放大器本身的噪声, 还有随机误差等, 这些都要在硬件电路设计和软件编程时加以修正和克服。自动量程的转换是由改变采样电阻来实现的, 在硬件电路设计中, 不应采用继电器进行转换, 因为继电器体积大, 转换速度慢, 继电器工作电流大, 不符合低功耗的设计要求。应考虑采用电子开关实现量程转换, 在软件编程中加入量程转换识别模块。

## 4 硬件电路的设计

### 4.1 硬件电路的总体框图

硬件电路由 MSP430F149 单片机 4\*4 按键, LCD1602 点阵液晶屏、恒流源电路、恒流源量程转换电路、电源等部分组成。

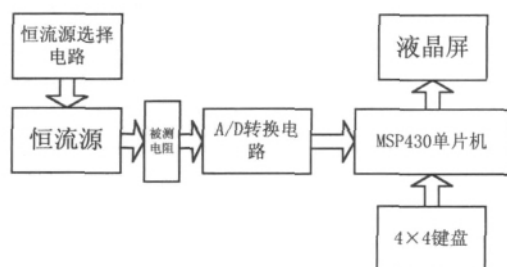


图 1 硬件电路框图

### 4.2 MSP430F149 单片机和低功耗设计

MSP430F149 是美国 TI 公司的 MSP430 系列超低功耗类型的 16 位单片机中的一种。它采用了 RISC 内核结构, 同时将 A/D 转换器、看门狗、硬件乘法器、液晶驱动器等电路集成在芯片内部, 简化了外围电路的设计<sup>[3] (2-6)</sup>。在硬件电路设计中主要采取以下措施降低功耗: 1、采用专门为低功耗设计的 MSP430F149 单片机, 它在芯片设计上, 采用新的生产工艺, 高集成度的单片化设计, 将很多外围模块集成到了芯片内部, 采取低电压设计, 降低了芯片工作电压 (1.8 - 3.6 伏); 2、MSP430PF149 单片机具有五种省电模式, LPM0 模式, 关闭 MCU, 通过减少 MCU 的工作时间来降低功耗, 当需要 MCU 工作时用软件将其唤醒。其它的省电模式中, 通过单独关闭单片机外围功能模块达到降低功耗的目的, 在电阻测量仪设计中可将不使用的比较器、定时器等模块关闭, 省电模式中最小工作电流不到 1 微安; 3、MSP430F149 单片机将 MCU、外围功能模块、休眠唤醒机制所需要的时钟独立, 通过软件设置, 为不同的硬件设备提供不同的时钟, 低速设备采用低频时钟, 有效地降低了时钟频率。软件设计中, 通过扫描外围电路, 当检测到电阻测量仪不使用时进入休眠模式, 通过按键 (产生外部中断) 进入工作模式。

### 4.3 4\*4 矩阵按键

按键主要用来输入电阻值和功能转换, 考虑到列数较多, 采用线反转法以提高效率。依据键号与键值的对应关系列一表格, 根据表格查到键号, 进入相应处理程序<sup>[4] (122-128)</sup>。硬件电路中用 P1.0 - P1.7 作为行、列按键, 对于机械按键在编程时要考虑按键的去抖动问题, 在程序中加入消抖动延时程序模块<sup>[5] (110-111)</sup>。

### 4.4 1602 点阵液晶屏

电阻测量仪设计显示 3 位有效数字, 小数点的位置和单位根据量程的不同而改变, 在 100 欧姆档满量程显示: 99.9Ω, 在 1000 欧姆档满量程显示:

999Ω 等。由于不需显示汉字,因此用 LCD1602 字符型液晶屏。MSP430F149 单片机没有点阵液晶屏驱动程序,在硬件电路中用 P3.0 – RS, P3.1 – R/W, P3.2 – E 作为控制信号, P4.0 – P4.7 为数据口,考虑到低功耗的要求,当长时间不用时,用软件关掉背光灯的电源达到节电的目的。

#### 4.5 电阻筛选功能和电源

通过按键输入阻值和误差,电阻测量仪能够将不符合要求的电阻筛选出来,并且显示阻值和误差,在大批量生产中具有一定的应用价值。电源采用 2 节 5 号电池, SN74LVC4245 双向电平转换器实现 3V 与 5V 的电平转换。

### 5 系统软件的编程与设计

#### 5.1 MSP430 单片机开发软件

IAR 公司的 Embedded Workbench for MSP430 (EW430) 是最常用的集成开发环境。EW430 软件提供了工程管理、程序编辑、代码下载、系统在线调试等功能。EW430 提供了在系统仿真和调试功能,用 FET – Debugger 连接器接计算机的并口,另一端连接 JTAG 端口,在 EW430 中 Debugger 项内的 Setup 页 Driver 框内选择 FET – Debugger,在 FET – Debugger 项内的 Setup 页选择 Texas Instrument LPT – I,单击 Download and Debug 即可进入调试状态。

#### 5.2 A/D 转换模块的设计

ADC12 模块是由输入的 16 路模拟开关、ADC 内部电压参考源、ADC12 内核、ADC 时钟源、采集与保持/触发源、ADC 数据输出、ADC 控制寄存器等组成。模拟采样电压从 P6.0/A0 口输入, ADC12 模块主要控制寄存器有: ADC12CTL0、ADC12IE 中断使能寄存器、ADC12IFG 中断标志寄存器、ADC12MEM 存储寄存器和 ADC12MCTL 存储控制寄存器等,在编程时要对以上寄存器进行设置。

A/D 转换模块的部分源程序

```
#include <msp430x14x.h>
```

```
#include "cry1602.h"
```

```
#include "cry1602.c"
```

```
#define Num_of_Results 32
```

```
uchar shuzi[] = { "0123456789."};
```

```
uchar tishi[] = { "The resistance is:"};
```

```
void main( void)
```

```
{
```

```
WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;
```

```
P6DIR |= BIT2; P6OUT |= BIT2;
```

```
LcdReset();
```

```
DispNChar( 20, 12, Resistance);
```

```
Disp1Char( 11, 1, Ω);
```

```
P6SEL |= 0x01;
```

```
ADC12CTL0 = ADC12ON + SHT0_8 + MSC;
```

```
ADC12CTL1 = SHP + CONSEQ_2;
```

```
ADC12IE = 0x01;
```

```
ADC12CTL0 |= ENC;
```

```
ADC12CTL0 |= ADC12SC;
```

```
_EINT();
```

```
LPM0;
```

```
}
```

#### 5.3 1602 点阵液晶屏部分源程序

```
#include <msp430x14x.h>
```

```
#include "cry1602.h"
```

```
#define DataDir P4DIR
```

```
#define DataPort P4OUT
```

```
#define Busy 0x80
```

```
#define CtrlDir P3DIR
```

```
#define CLR_RS P3OUT&= ~BIT0; //RS =  
P3.0
```

```
#define SET_RS P3OUT|= BIT0;
```

```
#define CLR_RW P3OUT&= ~BIT1; //RW =  
P3.1
```

```
#define SET_RW P3OUT|= BIT1;
```

```
#define CLR_EN P3OUT&= ~BIT2; //EN =  
P3.2
```

```
#define SET_EN P3OUT1 = BIT2;  
.....
```

## 参考文献:

- [1] 陈凯良, 竺树声. 恒流源及其应用电路 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1992.
- [2] 徐猛, 李智. 恒流源在高精度数字多用表中的设计与实现 [J]. 电测与仪表, 2009 (5).
- [3] 谢楷, 赵建. MSP430 系列单片机系统工程设计与实践 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [4] 李全利. 单片机原理及接口技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [5] 张杰. 基于汇编语言的延时程序的编程与研究 [J]. 山东教育学院学报, 2009 (6).

## Resistance Measuring Instrument Design With Low Power Consumption And High Precision

Zhang Jie

( Department of Physical , Qilu Normal Institute , Jinan 250013 , China )

**Abstract:** This paper introduces the principle and method of realizing resistance precision measuring by using R/V converter. It also analyses the error causes in resistance measuring. The author adds the function of resistance riddling , use MSP430 monolithic integrated circuit as control circuit , thus realizes the low power consumption.

**Key words:** Low Power Consumption; High Precision; MSP430; Resistance; A/D converter; constant - current source

(责任编辑:田 丽)