

## TI 单相电表计量库使用说明

程科/俞诗鲲

MCU SAE Team

### 摘要

本应用笔记介绍了TI单相电能表电能计量软件库的使用方法。电能计量是智能电表的核心功能。本文基于MSP430系列单片机设计了一套符合中国国家电网规约要求的软件计量算法库，该库实现了有功功率，无功功率，功率因数，电流电压真有效值，频率等一系列电能表参数计算，同时提供了过压、过流、浅动等一系列电能表状态指示。该软件库具有功能完整，动态范围广，精度高，以及配置灵活的特点。本文介绍了软件计量程序库的实现原理，使用防范以及相关的校表方法，同时提供了测试结果。

### 目录

<b>1</b>	<b>单相电能表计量及硬件电路介绍</b>	<b>3</b>
1.1	应用背景	3
1.2	计量部分硬件电路分析	3
1.3	计量库主要功能及实现流程	5
<b>2</b>	<b>第二部分 计量库功能介绍</b>	<b>6</b>
2.1	计量代码库	6
2.2	函数说明	7
2.3	地址及相应功能介绍	7
<b>3</b>	<b>校表介绍</b>	<b>14</b>
3.1	校表寄存器	14
3.2	校表方法	14
3.2.1	功率增益及偏置校准	14
3.2.2	电压电流角差校准	15
3.2.3	电压增益校准	16
3.2.4	电流增益校准	16
3.3	校表软件介绍	17
<b>4</b>	<b>结论</b>	<b>18</b>
4.1	硬件平台	18
4.2	测试数据	18
<b>5</b>	<b>参考文献</b>	<b>19</b>

## 图表

图 1	计量模拟前端电路	4
图 2	软件计量算法流程	6
图 3	相位补偿	15
图 4	校表软件界面	17
图 5	测试样表	18
图 6	精度测试结果	18

# 1 单相电能表计量及硬件电路介绍

## 1.1 应用背景

智能电表是智能电网的基础终端，电能计量又是智能电表的核心功能。本次设计实现了一个完整的基于TI公司MSP430系列单片机MSP430F6736的集计量，费率事件功能为一体的电能表，并通过了多家电表厂商的内部测试，其功能及精度要完全满足国网的1级电能表的要求。

## 1.2 计量部分硬件电路分析

在电能计量系统中，电表采用不同的传感器对电压和电流信号进行采样。

电压采样方式主要有两种：1) 电阻分压采样2) 电压互感器采样。其中电阻采样为主流。因为电阻采样电路不会给信号带来非线性变化，而电压互感器是非线性器件，会给原始输入信号带来相位偏移及增益变化的问题。

电流采样方式主要有三种 1) 精密电流互感器 2) 锰铜片电阻采样3) 霍尔电流传感器。

其中锰铜片电阻采样在单相电能表计量中为首选。其次是精密电流互感器，其在三相电能表采样中是主流。至于霍尔电流传感器在电能表中不常用。在国家电网招标的单相表中是以锰铜片电阻采样为主，精密电流互感器采样为辅。使用锰铜片电阻采样电流，不会对电流原始输入信号产生增益及相位畸变，因为电阻本就是线性器件。但锰铜片电阻值太小，在其输入端容易混叠较大的噪音，因此一般输入到ADC之前都要经过一级可编程增益放大器，将信号进行放大，然后再进行处理。哪怕如此处理，在电流输入信号极其微弱时，由于ADC SNR指标的限制，噪音还是会将电流淹没，导致测量误差。

在电表设计中，一般对电压信号处理都相对容易，因为其幅值变化范围较小。大多时间工作在满量程附近。对SNR的要求不高。不存在小信号噪音问题。且用户负载一般产生的是电流谐波，电压谐波影响较小。因此一般将电压信号做为频率测量的基准信号。

而对于电流信号来说，由于用户负载的变化范围很大，也就是说电流信号具有较大的动态输入范围，尤其在小信号时一般ADC的有效分辨率不足以抑制噪声，这将导致计量误差。使用电流互感器采样对电流小信号处理比较容易，这样信号互感器的输出信号远远强于锰铜片电阻采样。

在设计计量系统时需要根据计量表的设计等级选择合适等级的传感器，并对传感器进行建模，以便在硬件实现过程中对非线性误差予以补偿。如下图1是本次设计单相表采样前端的设计原理图。

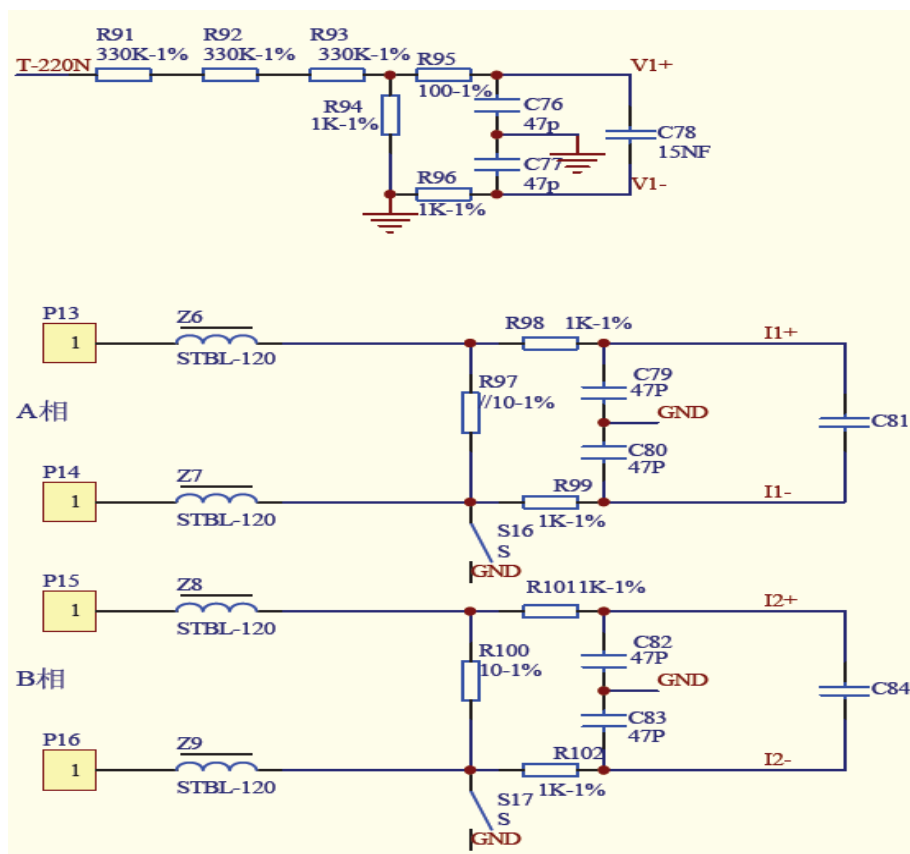


图 1 计量模拟前端电路

MSP430F6736 ADC输入电压幅值不能超过 $\pm 600mV$ 。电压输入通过电阻分压，将信号降到ADC输入范围以内，这里输入信号最大为  $V \cdot R94 / (R91 + R92 + R93 + R94) \cdot 1.2 = 220 / 0.707 \cdot 1.2 \cdot 1.3 \cdot 1 / (330 + 330 + 330 + 1) = 0.49V$ ，信号在允许范围内。其中V为电压输入有效值，这里为220V， $1.2 \cdot 1.3$ 为输入幅值余度， $220 / 0.707$ 是电压峰值。

电流采样分别通过锰铜和电流互感器，将信号调整到ADC输入范围。锰铜输入通道，这里输入信号最大为  $I_{max} \cdot R \cdot 1.2 \cdot 1.3 = 40 / 0.707 \cdot 1.2 \cdot 1.3 \cdot 250 / 1000000 = 0.022V$ ，其中 $I_{max}$ 为电能表允许的最大输入电流，这里为有效值40A，峰值为 $40 / 0.707$ ，R为锰铜阻值，这里取250微欧， $1.2 \cdot 1.3$ 为信号余度。这个信号相当微弱，因此可以设置片上ADC的PGA前端的放大增益为16倍，这样信号就能在一个合理的输入范围内了。

对于电流互感器采样回路，由于其输入为电流源，因此需要R100取样电阻(锰铜回路不需要R97)，将电流信号转换成电压信号，而后输入ADC。对于电流互感器其输出信号较强 $5A / 2.5mA$ ，因此ADC前端输入信号为  $I_{max} / 5 \cdot 2.5 \cdot R \cdot 1.2 \cdot 1.3 = 40 / 0.707 / 5 \cdot 2.5mA \cdot 10 \cdot 1.2 \cdot 1.3 = 441mV$ 。不需要ADC前端PGA进行信号放大。

再好的信号处理算法也只是对原始信号的逼近，因此为了取得最优的计量性能，其采样信号源是非常重要的，在电表的应用里sigma-delta ADC采样电路的设计及采样回路电路板走线是计量是否准确和稳定的关键因素。有几个问题需要考虑：

- (1) 需要避免电压电流输入信号到单片机的交越干扰。
- (2) 需要避免单片机输入端差模噪声注入。
- (3) 需要注意温度变化对信号产生的相移。

### 1.3 计量库主要功能及实现流程

此参考设计使用TI最新的SOC计量芯片MSP430F6736,实现一个单相电能表计量方案。参考设计的目的在于实现一个完整的单相计量库。使用户在这个参考设计的基础上快速建立自己的单相SOC电表方案。

代码库提供零线和火线有功功率，无功功率，视在功率，有功能量以及无功能量，同时还能测量各回路电流有效值，电压有效值，功率因数，频率等参数，满足单相多功能电能表的需求。软件支持数字校表，校表方法在后面的“校表部分”会详细介绍。具体支持如下电量参数实现：

1. 软件支持有功功率，无功功率，视在功率。
2. 软件支持功率因素，相角，线频率。
3. 软件支持电压电流真有效值。
4. 软件支持失压判断功能。
5. 软件支持反向功率指示。
6. 四象限有功功率和无功功率。
7. 软件支持能量绝对值累计。
8. 软件支持电表常数可调。
9. 软件支持启动电流可调。
10. 可测量到含31次谐波的有功，无功和视在功率。
11. 软件提供有功脉冲，无功脉冲。

计量软件实现流程如图2所示：

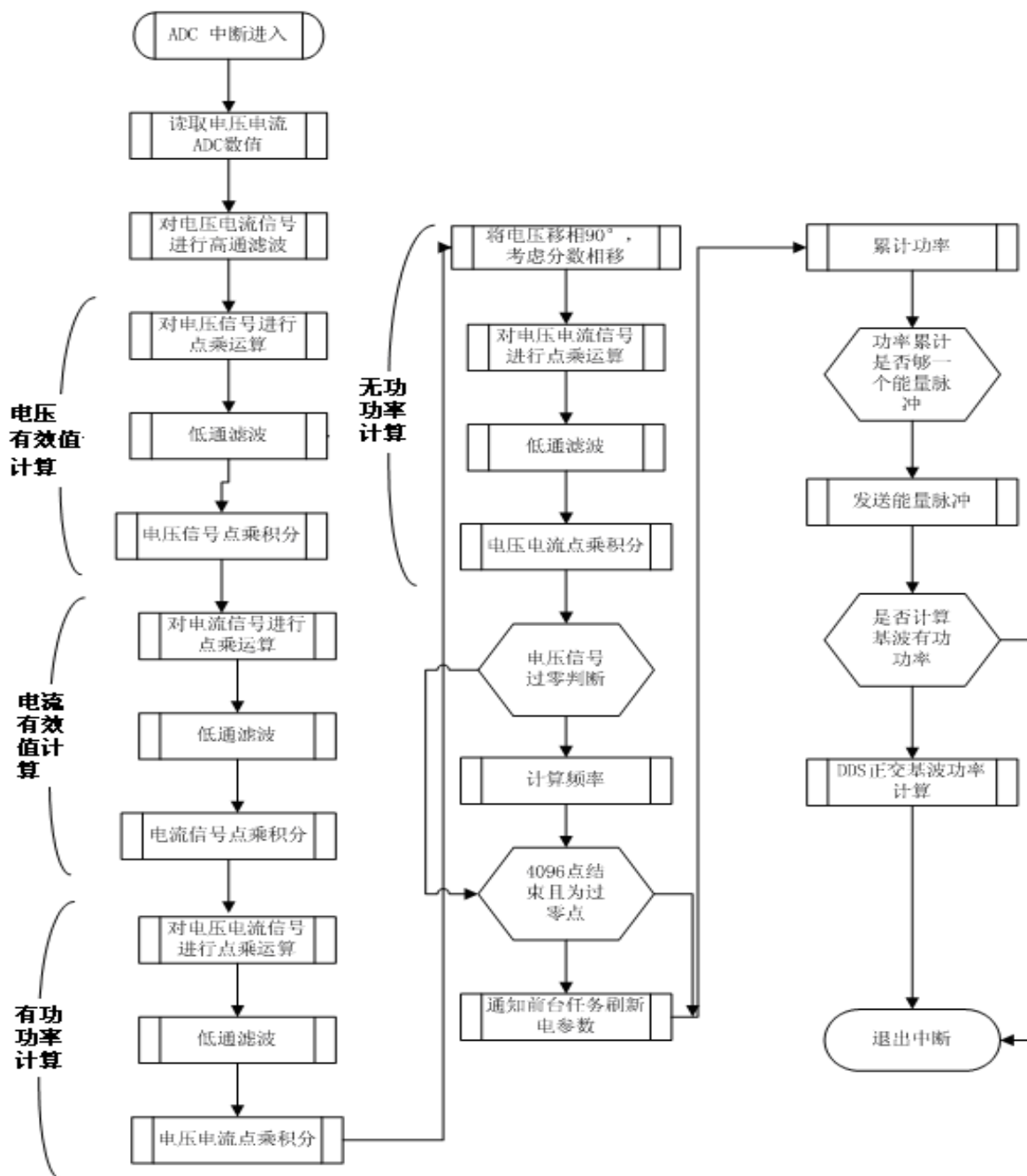


图 2 软件计量算法流程

## 2 第二部分 计量库功能介绍

### 2.1 计量代码库

主要包含目录 emeter-toolkit, emeter-metrology, emeter-app。主要代码文件包含 emeter-interface.c, emeter-background.c, emeter-metrology-setup.c, emeter-fir-table.c, emeter-foreground.c 等。为方便二次开发, 代码库提供了通用用户接口, 供程序调用, 以实现校表和计量数据读取等功能。代码库占用 SD24 硬件资源, 计量有功和无功电能的 LED 脉冲灯输出依据火线和零线连接中功率较大的值。

## 2.2 函数说明

emeter-interface.h 文件中声明的主要函数和宏定义如下：

```
int32_t get_parameter(int address)
uint8_t set_parameter(int address, int32_t value)
void internal_alogrithm_library_init (void)
void calculate_readings (void)
void internal_alogrithm_library_dis(void);
```

```
int32_t get_parameter(int address)
介绍：获取各种计量参数从地址address。
入参：16位整型address 地址
出参：返回该地址上的数据。
可中断重入，可中断中使用。
```

```
uint8_t set_parameter(int address, int32_t value)
介绍：设置各种校表参数和表参数到地址address。
入参：16位整型 address地址 32位有符号整型 value 值
出参：返回1 表示操作成功，返回0表示操作失败。
不可中断重入，不可中断中使用。
```

```
void internal_alogrithm_library_init (void)
介绍：代码库初始化，在上电之初，IO口设置完毕后调用。
入参：无
出参：无
```

```
void internal_alogrithm_library_dis(void);
介绍：关闭代码库，在掉电进入低功耗时调用。
入参：无
出参：无
```

```
void calculate_readings (void)
介绍：此函数周期性（1s）调用，以更新实时数据。
入参：无
出参：无
不可中断重入，不可中断中使用。
```

## 2.3 地址及相应功能介绍

考虑到代码将来的改动或扩展，地址不具体定义。使用枚举变量让编译器自动生成。用户可以include的这个变量定义，使用枚举地址设置和获取数据。

int32\_t get\_parameter (int address) 函数地址枚举变量定义如下：

**获取实时数据结构**

```
enum get_parameter_table
```

```
{  
  AFE_BASE_A                = 0x0000,  
  AFE_ACTIVE_POWER_PHASE_A,  
  AFE_REACTIVE_POWER_PHASE_A,  
  AFE_IRMS_PHASE_A,  
  AFE_BASE_A_EXT           = 0x0030,  
  AFE_QUADRANT_PHASE_A,  
  AFE_BASE_B                = 0x0100,  
  AFE_ACTIVE_POWER_PHASE_B,  
  AFE_REACTIVE_POWER_PHASE_B,  
  AFE_IRMS_PHASE_B,  
  AFE_BASE_B_EXT           = 0x0130,  
  AFE_QUADRANT_PHASE_B,  
  AFE_BASE_AB               = 0x0300,  
  AFE_ACTIVE_POWER_PHASE_AB,  
  AFE_REACTIVE_POWER_PHASE_AB,  
  AFE_APPARENT_POWER_PHASE_AB,  
  AFE_VRMS_PHASE_AB,  
  AFE_IRMS_PHASE_AB,  
  AFE_PF_PHASE_AB,  
  AFE_ACTIVE_ENGERY_PHASE_AB,  
  AFE_REACTIVE_ENGERY_PHASE_AB,  
  AFE_ACTIVE_ENGERY2_PHASE_AB,  
  AFE_REACTIVE_ENGERY2_PHASE_AB,  
  AFE_BASE_AB_EXT          = 0x0330,  
  AFE_QUADRANT_PHASE_AB,  
  AFE_BASE_D                = 0x0400,  
  AFE_FREQUENCY_LINE,  
  AFE_TEMPERATURE,  
  AFE_BASE_E                = 0x0500,  
  AFE_GET_PCONST,  
  AFE_GET_POWER_GAINA0,  
  AFE_GET_POWER_GAINB0,  
  AFE_GET_PHASEOFFSET_A0,  
  AFE_GET_PHASEOFFSET_B0,  
  AFE_GET_VGAINA,  
  AFE_GET_VGAINB,  
  AFE_GET_IGAINA,  
  AFE_GET_IGAINB,  
  AFE_GET_IOFFSETA,  
  AFE_GET_IOFFSETB,  
  AFE_GET_POFFSETA,  
  AFE_GET_POFFSETB,  
  AFE_GET_QOFFSETA,  
  AFE_GET_QOFFSETB,  
  AFE_GET_END,  
}
```



};

以下对每个地址进行解析:

**AFE\_ACTIVE\_POWER\_PHASE\_A**

**AFE\_ACTIVE\_POWER\_PHASE\_B**

**AFE\_ACTIVE\_POWER\_PHASE\_AB**

描述: 火线回路, 零线回路, 两回路中较大有功功率

单位: 10mW

**AFE\_REACTIVE\_POWER\_PHASE\_A**

**AFE\_REACTIVE\_POWER\_PHASE\_B**

**AFE\_REACTIVE\_POWER\_PHASE\_AB**

描述: 火线回路, 零线回路, 两回路中较大无功功率

单位: 10mVar

**AFE\_APPARENT\_POWER\_PHASE\_AB**

描述: 两回路中较大视在功率

单位: 10mVA

**AFE\_VRMS\_PHASE\_AB**

描述: 电压有效值

单位: 10mV

**AFE\_IRMS\_PHASE\_A**

**AFE\_IRMS\_PHASE\_B**

**AFE\_IRMS\_PHASE\_AB**

描述: 火线回路, 零线回路, 两回路中较大电流有效值

单位: 1mA

**AFE\_PF\_PHASE\_AB**

描述: 两回路中较大电流功率因数

单位: 0.0001

**AFE\_ACTIVE\_ENGERY\_PHASE\_AB**

描述: 两回路中较大有功电能脉冲数

单位: 依赖脉冲常数

**AFE\_REACTIVE\_ENGERY\_PHASE\_AB**

描述: 两回路中较大无功电能脉冲数

单位: 依赖脉冲常数

**AFE\_ACTIVE\_ENGERY2\_PHASE\_AB**

描述: 两回路中较大有功电能脉冲数, 读后清0

单位: 依赖脉冲常数

**AFE\_REACTIVE\_ENGERY2\_PHASE\_AB**

描述：两回路中较大无功电能脉冲数，读后清0

单位：依赖脉冲常数

**AFE\_QUADRANT\_PHASE\_A**

**AFE\_QUADRANT\_PHASE\_B**

**AFE\_QUADRANT\_PHASE\_AB**

描述：火线回路，零线回路，两回路中较大象限

单位：1

范围：0,1,2,3 对应 1,2,3,4象限

**AFE\_FREQUENCY\_LINE**

描述：系统频率

单位：0.01Hz

**AFE\_TEMPERATURE**

描述：表内温度

单位：0.1° (保留)

**AFE\_GET\_POWER\_GAINA0**

描述：火线功率增益

**AFE\_GET\_POWER\_GAINB0**

描述：零线功率增益

**AFE\_GET\_PHASEOFFSET\_A0**

描述：火线电压电流角差补偿

**AFE\_GET\_PHASEOFFSET\_B0**

描述：零线电压电流角差补偿

**AFE\_GET\_VGAINA**

描述：火线电压增益

**AFE\_GET\_VGAINB**

描述：零线电压增益

**AFE\_GET\_IGAINA**

描述：火线电流增益

**AFE\_GET\_IGAINB**

描述：零线电流增益

**AFE\_GET\_IOFFSETA**

描述：火线电流偏置

单位：1mA

**AFE\_GET\_IOFFSETB**

描述：零线电流偏置

单位：1mA

**AFE\_GET\_POFFSETA**

描述：火线功率偏置

单位：10mW\*16

**AFE\_GET\_POFFSETB**

描述：零线功率偏置

单位：10mW \*16

**AFE\_GET\_QOFFSETA**

描述：火线无功偏置

单位：10mVar（保留）

**AFE\_GET\_QOFFSETB**

描述：零线无功偏置

单位：10mVar（保留）

**获取实时数据结构**

enum set\_parameter\_table

```

{
    AFE_SET_BASE                = 0x00,
    AFE_SET_POWER_GAINA0,
    AFE_SET_POWER_GAINB0,
    AFE_SET_PHASEOFFSET_A0,
    AFE_SET_PHASEOFFSET_B0,
    AFE_SET_VGAINA,
    AFE_SET_VGAINB,
    AFE_SET_STARTUP_I,
    AFE_SET_NOMINAL_V,
    AFE_SET_IB,
    AFE_SET_IGAINA,
    AFE_SET_IGAINB,
    AFE_SET_IOFFSETA,
    AFE_SET_IOFFSETB,
    AFE_SET_POFFSETA,
    AFE_SET_POFFSETB,
    AFE_SET_QOFFSETA,
    AFE_SET_QOFFSETB,
    AFE_SET_ADD_MODE,
    AFE_SET_ACTIVE_PULSE_H,
    AFE_SET_ACTIVE_PULSE_L,
    AFE_SET_REACTIVE_PULSE_H,

```

```
AFE_SET_REACTIVE_PULSE_L,  
AFE_SET_PCONST,  
AFE_SET_CALA_START,  
AFE_SET_CALB_START,  
AFE_USER_CALLBACK,  
};
```

**AFE\_SET\_POWER\_GAINA0**

描述：火线功率增益

**AFE\_SET\_POWER\_GAINB0**

描述：零线功率增益

**AFE\_SET\_PHASEOFFSET\_A0**

描述：火线电压电流角差补偿

**AFE\_SET\_PHASEOFFSET\_B0**

描述：零线电压电流角差补偿

**AFE\_SET\_VGAINA**

描述：火线电压增益

**AFE\_SET\_VGAINB**

描述：零线电压增益

**AFE\_SET\_STARTUP\_I**

描述：启动电流

单位：0.0001 万分数

**AFE\_SET\_NOMINAL\_V**

描述：标称电压

单位：1V

**AFE\_SET\_IB**

描述：标称电流

单位：1A

**AFE\_SET\_IGAINA**

描述：火线电流增益

**AFE\_SET\_IGAINB**

描述：零线电流增益

**AFE\_SET\_IOFFSETA**

描述：火线电流偏置

单位：1mA

**AFE\_SET\_IOFFSETB**

描述：零线电流偏置

单位：1mA

**AFE\_SET\_POFFSETA**

描述：火线功率偏置

单位：10mW\*16

**AFE\_SET\_POFFSETB**

描述：零线功率偏置

单位：10mW \*16

**AFE\_SET\_QOFFSETA**

描述：火线无功偏置

单位：10mVar（保留）

**AFE\_SET\_QOFFSETB**

描述：零线无功偏置

单位：10mVar（保留）

**AFE\_SET\_ACTIVE\_PULSE\_H**

描述：设置有功脉冲输出高函数

**AFE\_SET\_ACTIVE\_PULSE\_L**

描述：设置有功脉冲输出低函数

**AFE\_SET\_REACTIVE\_PULSE\_H**

描述：设置无功脉冲输出高函数，可以不设置

**AFE\_SET\_REACTIVE\_PULSE\_L**

描述：设置无功脉冲输出低函数，可以不设置

**AFE\_SET\_PCONST**

描述：脉冲常数

**AFE\_SET\_CALA\_START**

描述：火线校表初始化

**AFE\_SET\_CALB\_START**

描述：零线校表初始化

**AFE\_USER\_CALLBACK**

描述：为用户提供一个220us的中断时钟，可参考示例代码。

## 3 校表介绍

### 3.1 校表寄存器

校表寄存器在火线零线等同对待。

功率增益寄存器

寄存器名	字长	范围	正常范围	初始值	步长
功率增益	16bit signed	0~0x7FFF	0x1000~0x7000	0x3000	NA

电压电流角差补偿寄存器

寄存器名	字长	范围	正常范围	初始值	步长
电压电流角差补偿	16bit signed	0x8000~0x7FFF	0xFF8C~0x01D2	0	PRELOAD

有功偏置寄存器

寄存器名	字长	范围	正常范围	初始值	步长
有功偏置	16bit signed	0x8000~0x7FFF	0xFF9C~0x064	0	10mW

无功偏置寄存器

寄存器名	字长	范围	正常范围	初始值	步长
无功偏置	16bit signed	0x8000~0x7FFF	0xFF9C~0x064	0	10mW

电流增益寄存器

寄存器名	字长	范围	正常范围	初始值	步长
电流增益	16bit signed	0~0x7FFF	0x1000~0x7000	0x2000	NA

电流偏置寄存器

寄存器名	字长	范围	正常范围	初始值	步长
电流偏置	16bit signed	0x8000~0x7FFF	0xFF9C~0x064	0	1mA

电压增益寄存器

寄存器名	字长	范围	正常范围	初始值	步长
电压增益	16bit signed	0~0x7FFF	0x1000~0x7000	0x4000	NA

### 3.2 校表方法

本计量库提供了专门的接口对计量参数进行校准。校表软件在pc端运行，通过串口和MSP430F6733通讯，进行参数设置。具体操作可参考示例代码。

#### 3.2.1 功率增益及偏置校准

功率增益校准可以进行单点和两点校准。当单点校准时，功率偏置默认为0。当两点校准时，功率偏置为功率相对0点的截距。校表可以通过脉冲也可以通过多次读取功率值求频率进行。两点校表公式如下：（最好取100%I<sub>b</sub> 和 5% I<sub>b</sub>两点）

功率增益校验公式：

$$Px\_GAIN_{n+1} = \frac{Px\_GAIN_n \times (N_{H2L} - 1)}{N_{H2L} \times (1 + E_H) - (1 + E_L)}$$

$E_H$  和  $E_L$  为大电流和小电流时功率的误差。（如 100%Ib 和 5% Ib 两点功率的误差）  
 $N_{H2L}$  为大电流和小电流的比差。（如  $N_{H2L}=100\%Ib / 5\%Ib = 20$ ）

功率偏置校验公式：

$$Px\_OFFSET_{n+1} = \frac{(E_H - E_L) \times N_{H2L} \times P_{GEN} \times 100}{N_{H2L} \times (1 + E_H) - (1 + E_L)}$$

$P_{GEN}$  是在小电流时的标准功率值。

无功的增益和偏置类似于有功，可参考有功校准。以下是一个单点校表的例子，说明如果编写校表软件。

1.  $E_H = 0.5\%$
2. 原始的  $P1\_GAIN_n = 10000$
3. 新的  $P1\_GAIN_{n+1} = 10000 / (1 + 0.5\%) = 9950$

### 3.2.2 电压电流角差校准

电压电流的角度补偿使用的是硬件同步。SD24的preload的寄存器实现这个硬件的角度补偿。如图3所示

SD16OSRx = 32

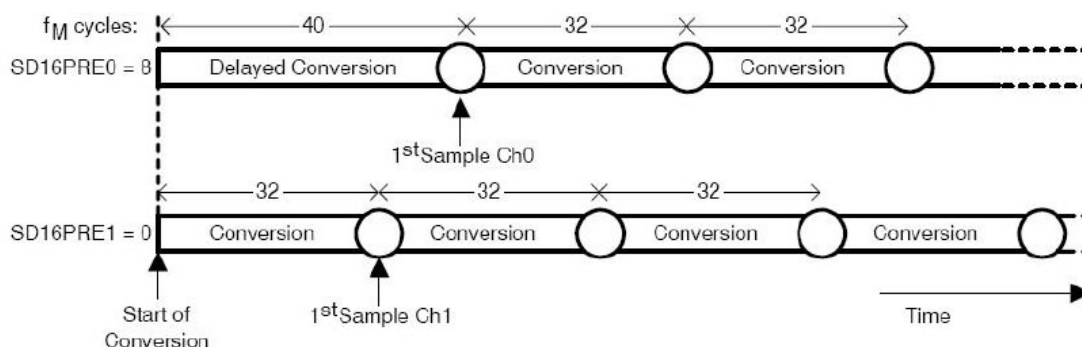


图 3 相位补偿

角差补偿使用下面公式

$$\theta = \frac{360 \times f_{in}}{OSR \times f_s} = \frac{360 \times f_{in}}{f_M}$$

$f_m$  是 ADC 的时钟频率， $f_m$  是电网频率。如果  $f_M = 50\text{Hz}$ ， $f_m = 256 \times 4096 = 1\text{MHz}$ ，每个步长是  $0.017^\circ$ ，

当功率增益和偏置都校准完毕后，才对角差进行校准。步骤如下：

1. 在 100%Ib 点，设置功率因数为 0.5L。
2. 获取当前脉冲的误差 E。并将 E 带入下面公式

$$Px\_PHASE_{n+1} = Px\_PHASE_n + \frac{256 \times 4096}{2 \times \pi \times 50} \times \left( \arccos \frac{1+E}{2} - \frac{\pi}{3} \right)$$

公式计算如下例

1.  $E_H = 0.3\%$
2. 原始的  $P1\_PHASE_n = 6$
3. 新的  $P1\_PHASE_{n+1} = 10+6=16$

### 3.2.3 电压增益校准

1. 将标准校表功率源的电压设置成标称电压  $VRMS_{GEN}$ ，如：中国一般是 220V.
2. 读取电压有效值  $VRMS_{measure}$  和功率增益寄存器  $VRMS\_FACTOR_N$ ，带入如下公式

$$VRMS\_FACTOR_{N+1} = VRMS\_FACTOR_N \times \frac{VRMS_{GEN}}{VRMS_{measure}}$$

3. 设置  $VRMS\_FACTOR_{N+1}$  到电压增益寄存器，如下例：

$$VRMS_{GEN} = 220V \text{ and } VRMS_{measure} = 219V$$

$$\text{原始的 } VRMS\_FACTOR_N = 2000$$

$$\text{新的 } VRMS\_FACTOR_{N+1} = 2000 \times 220 / 219 = 2009$$

### 3.2.4 电流增益校准

此校准类同电压增益校准



### 3.3 校表软件介绍

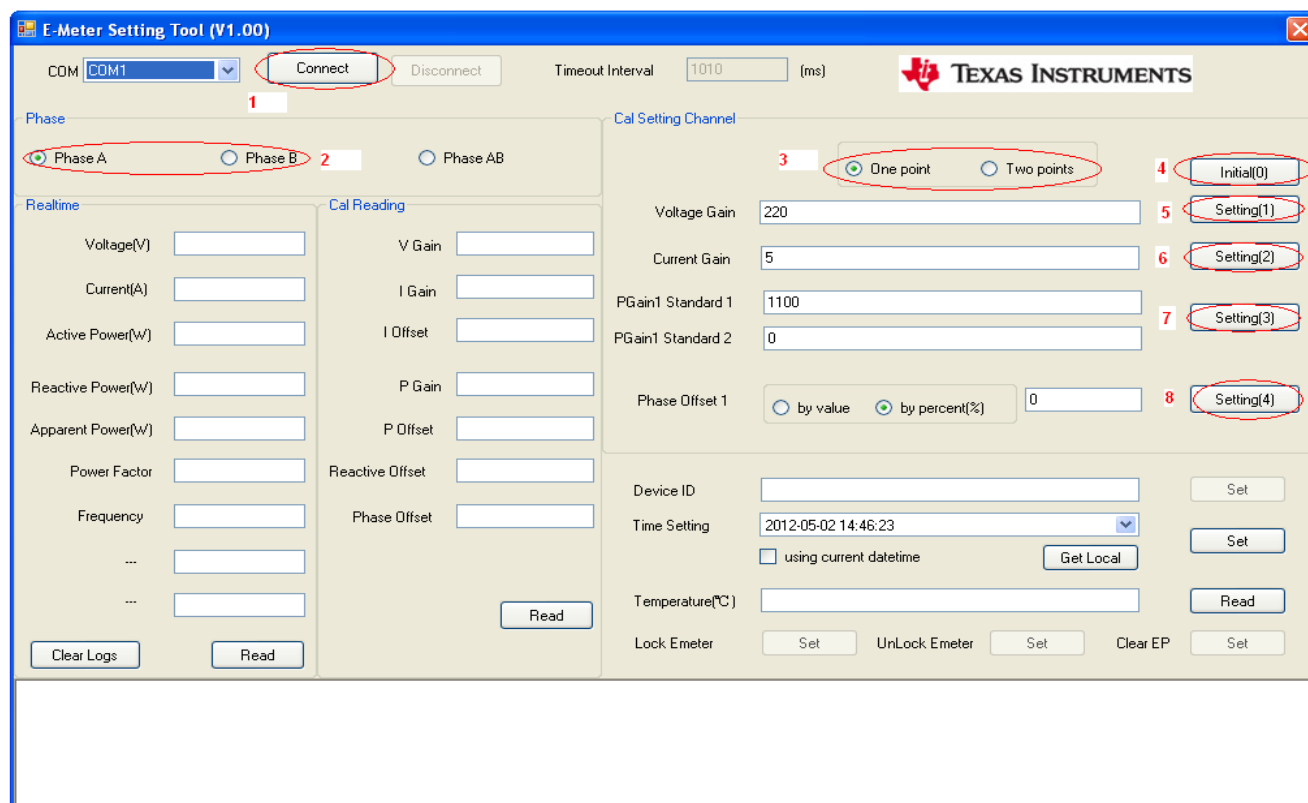


图 4 校表软件界面

校表软件支持单点和两点校表。火线，零线分别校准。操作步骤如下：

1. 点击“1”，连接相应串口。
2. 点击“2”，选择将要校准的相。
3. 点击“3”，选择是单点还是两点功率校准。
4. 点击“4”，初始化校表参数。
5. 点击“5”，校准电压增益。
6. 点击“6”，校准电流增益。
7. 点击“7”，校准功率增益及偏置。
8. 点击“8”，校准角差。这一步完成，表示这一相参数校准完毕。
9. 重复第2步到第8步，校准其他相参数。

## 4 结论

### 4.1 硬件平台

本设计主控芯片采用TI公司MSP430单片机MSP430F6736，它集成计量，费率事件，LCD显示，ESAM和RS485通讯，以及温度补偿实时时钟等功能于一身，是一款全SOC的方案。样表如图5所示，尺寸和规格都按照国家电网的单相电表规约要求设计。



图 5 测试样表

### 4.2 测试数据

实际测试在10mA至60A的6000:1动态范围内完成，每个测试电流分别测试了1.0, 0.5L和0.5C三个相位点的精度（因为0.5C和0.5L相位对称，在小电流时0.5L和0.5C的精度一般非常接近，所以止测了0.5L相位点）。整个测试结果如图6所示。所有测试点精度在0.25以内，完全满足国家电网关于单相智能电表的精度要求。

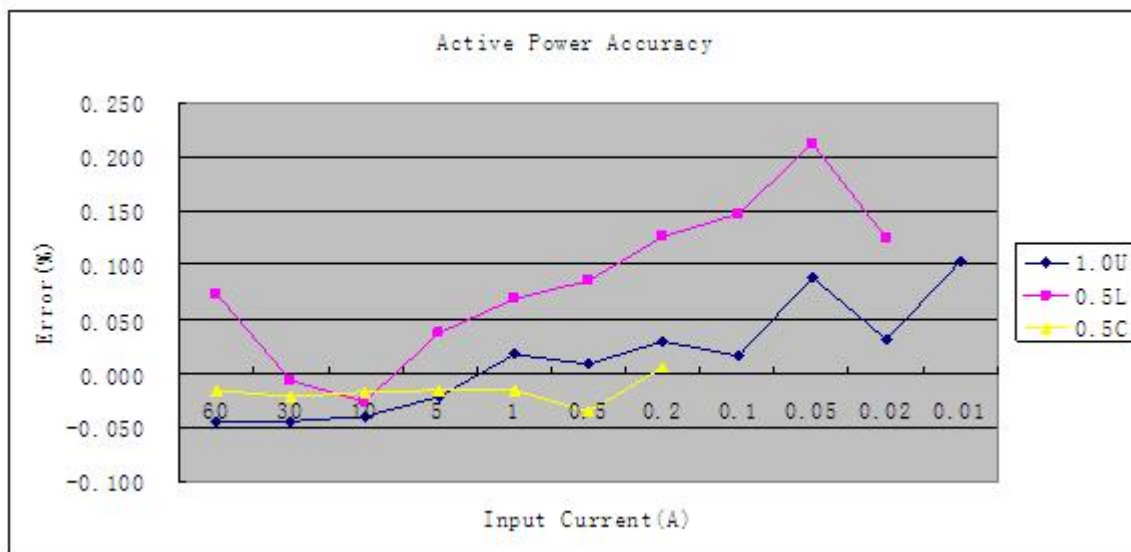


图 6 精度测试结果

## 5 参考文献

- [1] TI. MSP430x5xx and MSP430x6xx Family User's Guide (Rev. K)
- [2] TI. MSP430F673x, MSP430F672x Mixed Signal Microcontroller (Rev. B)
- [3] Kes Tam. Current-Transformer Phase-Shift Compensation and Calibration.
- [4] Percy Yu. MSP430AFE253 test report for China State Grid specification.

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP应用处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/omap">www.ti.com.cn/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>	德州仪器在线技术支持社区	<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122  
Copyright © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司