

# ATT7022EU 应用笔记

Rev 1.0

## 版本修改说明

| 版本号  | 修改记录             |
|------|------------------|
| V1.0 | 2011/11/12: 创建初稿 |

## ATT7022EU 的应用笔记

本应用笔记介绍了用 ATT7022EU 做多功能电能表的设计方法, 供大家参考, 在阅读该应用笔记前, 建议先仔细阅读 ATT7022EU 的用户手册。

### 概述

ATT7022EU 是一颗精度高且功能强的多功能防窃电三相电能专用计量芯片, 它集成了七路二阶 sigma-delta ADC, 其中三路用于三相电压采样, 三路用于三相电流采样, 还有一路可用于零线电流或其他防窃电参数的采样, 输出采样数据和有效值, 使用十分方便, 该芯片适用于三相三线和三相四线应用。

该芯片还集成了参考电压电路以及所有包括基波和全波(基波+谐波, 以下简称全波)的各项电参数测量的数字信号处理电路, 能够测量各相及合相全波有功功率、无功功率、视在功率、有功能量、无功能量以及视在能量(PQS、RMS 两种方式可选择); 基波有功功率、基波有功能量及基波电压、电流有效值, 还能测量频率、各相电流及电压有效值、功率因数、相角、电压夹角等参数, 充分满足三相多功能电能表以及基波电能表制作的需求。

ATT7022EU 内部的电压监测电路可以保证加电和断电时正常工作, 提供一个 SPI 接口, 方便与外部 MCU 之间进行计量参数以及校表参数的传递。支持全数字域的增益、相位校正, 即纯软件校表。有功、无功、视在及基波有功电能脉冲输出 CF1、CF2、CF3、CF4, 可以直接接到标准表, 进行误差校正。

### 一、 硬件电路设计

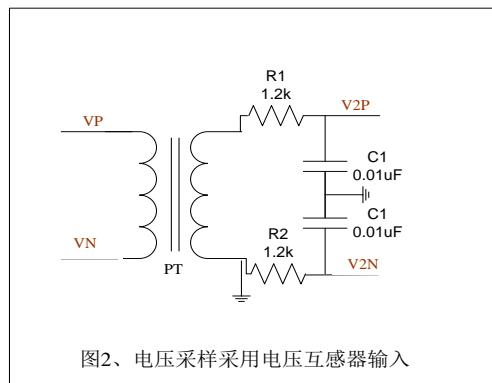
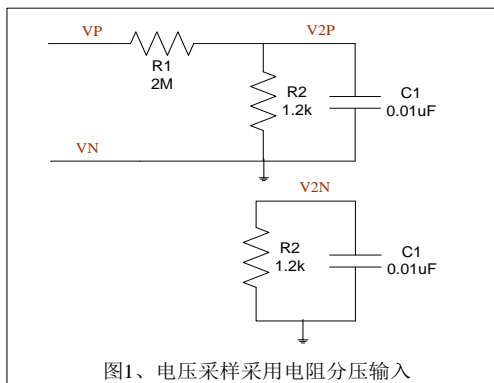
ATT7022EU 封装为 44 脚 LQFP 形式, 外围硬件电路主要包括电源、电压及电流模拟输入、脉冲输出及 SPI 通讯接口等电路。

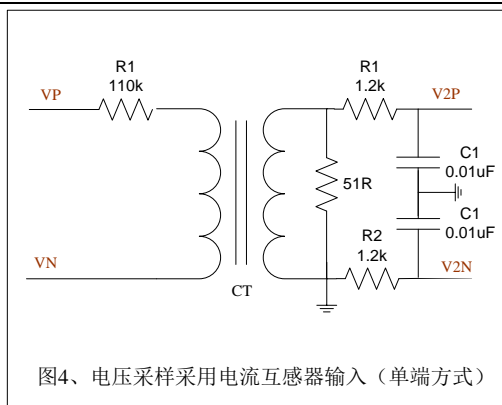
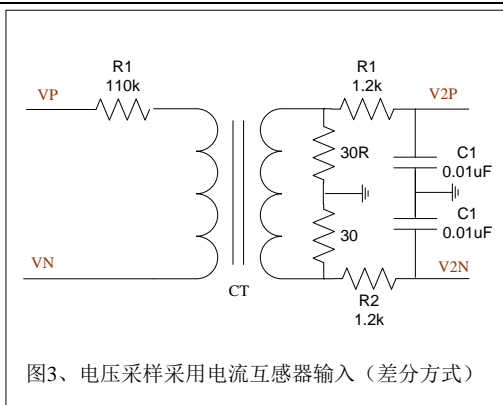
#### 模拟输入电路

ATT7022EU 内部集成了 7 路 19 位 A/D 转换器, 电流通道有效值在 0.1mV 至 500mV 的范围内线性误差小于 0.1%; 电压通道有效值在 0.2mV 至 500mV 的范围内线性误差小于 0.1%; 电压有效值取值在 0.2V 到 0.5V (放大后的电压值, 建议电压取样信号为 0.1V, 电压通道的放大倍数选 2 倍), 电流取值在 0.2mV 至 500mV, 电能线性误差小于 0.1%。

每路 ADC 的交流输入由管脚 VxP 和 VxN 输入, 以 GND 为中心, 不再需要偏置电压。

三相表计量芯片的采样电压输入可采用电阻分压方式(如图 1)或电压互感器方式(如图 2), 也可先将电压转换成电流, 通过电流互感器, 再将电流转换成电压的方式(如图 3、图 4), 后 3 种方式采用了互感器, 将芯片与电网进行了隔离, 从而可以获得良好的抗干扰性能。





图中 VP 与 VN 是电网电压，图中的参数是对 220V 为参考电压而设计的，图 2 中的 PT 将电网电压（如 220V）变换为采样电压，图 3、图 4 中的 CT 是 1: 1 的变换器（如 2mA 到 2mA）。

电流采样都是通过电流互感器完成的，有以下几种接线方式。

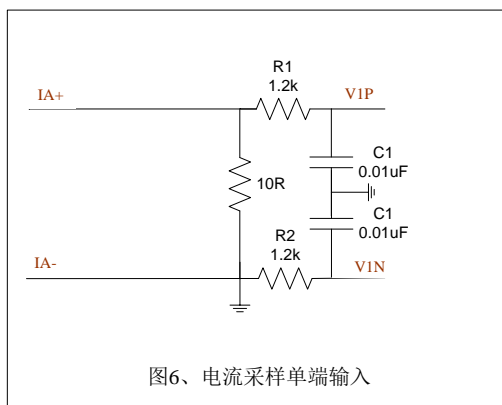
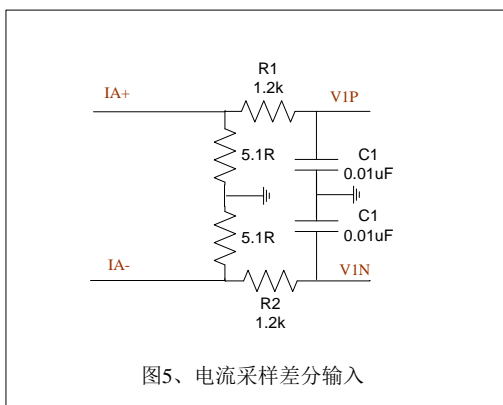


图 5 与图 6 中 IA+、IA-是电流互感器的二次侧信号。第七路 ADC 输入也可参考这种接法。

在采样输入信号设计时应注意以下几点：

- 1、无论任何输入方式，输入引脚的 VxP 和 VxN 均应偏置在 GND，否则不能准确计量。
  - 2、为保证测量精度，芯片第 5 脚外接滤波电容应尽量靠近管脚处，走线粗短，远离其它信号线，且两个电容均不可省去。电容的接地点应与采样信号的地线尽可能短的连在一起。
  - 3、VxP 和 VxN 输入电路中电阻 1.2K 和电容 0.01uF 构成了抗混叠滤波器，其结构和参数要讲究对称，并采用温度性能较好的元器件，从而保证电表获得良好的温度特性。
  - 4、任意一相电流与电压反向时，芯片第 40 脚 REVP 输出高电平，据此可以判断接线是否有错。
  - 5、芯片的输入脚 SEL 接高电平为选择三相四线接线方式，接低电平为选择三相三线接线方式。
  - 6、三相三线电表采用两元件测量方式，B 相不参与电能计量，端子接线上用 VB 替代三相四线的 VN。
- 电压采样输入 V4P 与 V4N、电流采样输入 V3P 与 V3N 可做为独立的信号输入，其电压、电流、功率、功率因数数值可读 B 相相应的寄存器。

## 电能脉冲输出电路

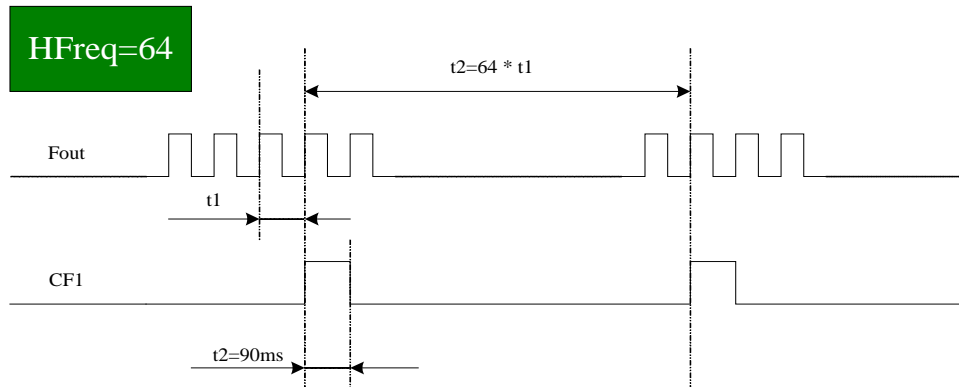
下面是有功电能脉冲信号生成的过程框图：



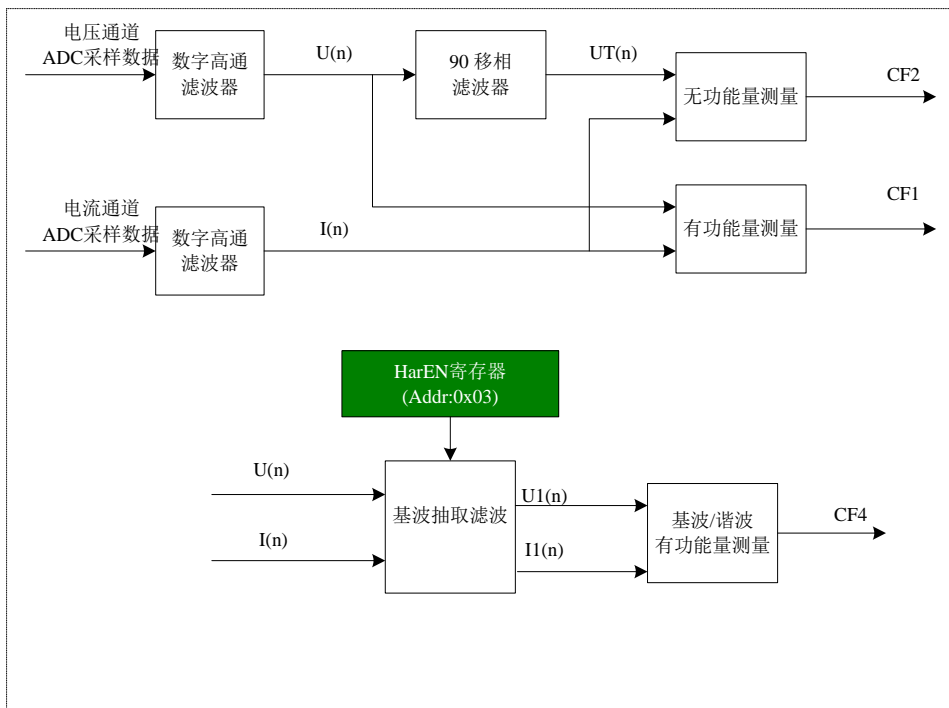
电压、电流信号经变换后再相乘得到瞬时功率，对时间积分后成为电能信号，根据设定的合相能量累加模式将三相电能做绝对值相加或代数值相加运算，并将结果变换为频率信号，然后按照用户设定

的分频系数进行分频，得到可用于校表的电能脉冲输出信号。

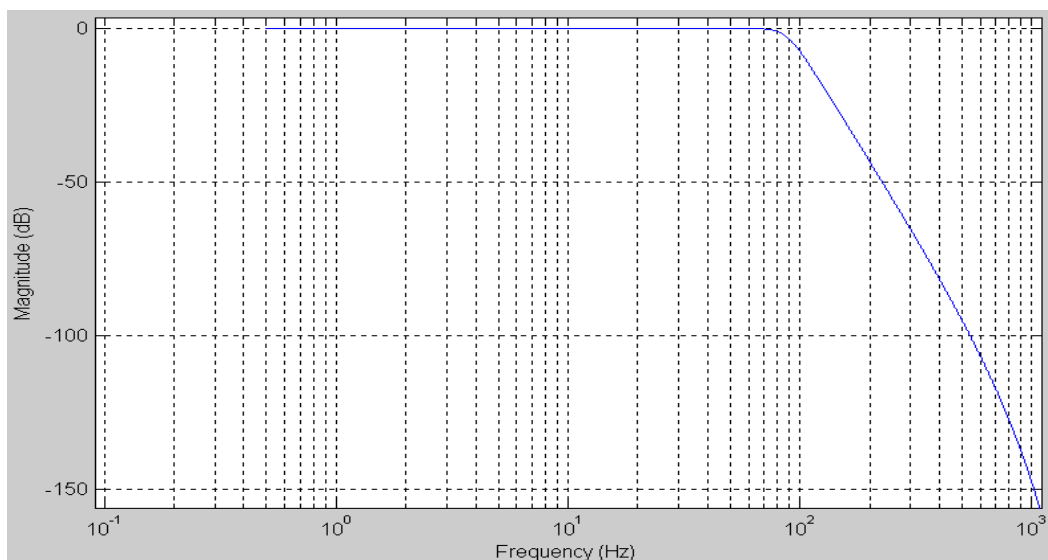
下面是高频输出常数为 64 时的分频示意图，电能脉冲输出的脉宽为 90 毫秒，当脉冲周期小于 180 毫秒时，电能脉冲以占空比为 1:1 的等宽脉冲输出。



无功电能脉冲信号则是计量电路中得到的无功瞬时功率，对时间积分后成为无功电能信号，再去生成无功电能脉冲信号，基波有功也是同样，它们都需要根据设定的合相能量累加模式将三相电能做绝对值相加或代数值相加运算，并将结果变换为频率信号，然后按照用户设定的分频系数进行分频，得到可用于校表的电能脉冲输出信号。脉宽和周期部分的生成都是一样的，其生成的过程总体框图如下：



由上图可见，通过寄存器（0x03）的控制位 HarEn 设置，可以开通基波的计量功能，此时 CF4 输出基波有功脉冲，基波抽取滤波器完成基波信号处理功能。其中基波抽取滤波器对高于 3 次(150Hz)以上的谐波信号进行衰减，仅保留基波成分，谐波衰减率在-30dB 以上，如下图：



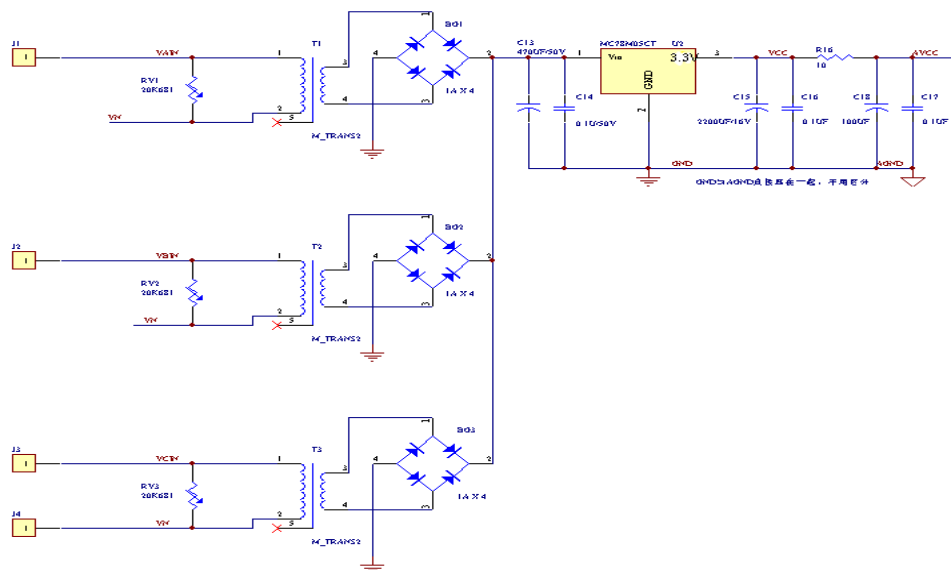
说明：基波抽取滤波器对高于 3 次(150Hz)以上的谐波信号进行衰减，  
仅保留基波成分，谐波衰减率在-30dB 以上；

在进行电能脉冲输出信号设计时应注意以下几点：

- 1、选择合适的合相能量累加方式：三相电能以代数和或以绝对值和方式累加。ATT7022EU 复位后对三相四线表（SEL 接高电平或浮空），合相能量累加方式默认为绝对值和，对三相三线表（SEL 接地），合相能量累加方式默认为代数和。通过写校表寄存器 0x03 的控制位 EAddmode，可以改变合相能量累加方式。
- 2、电能脉冲输出口 CF1、CF2、CF3、CF4 上所串电阻靠近管脚，如引线较长，可考虑在脉冲输出口管脚处接去耦电容，对电表获得良好的电磁兼容性有好处。

## 电源电路

下图是一个三相电源供电的原理图：



电源电路的设计对电表的性能尤为重要，为了保证良好的电磁兼容性，请注意以下几点：

- 1、电源电压 VCC、AVCC 应在 3.3V±10% 以内。
- 2、建议在 3.3V 稳压元件 U2 的输出端接 2200uF 的滤波电容。
- 3、GND 与 AGND 为数字和模拟电源参考点，在 PCB 布线时应将他们就近接大面积地，不要区分 GND 和 AGND，更不要在 GND 和 AGND 之间接电感、电阻和磁珠等元件。

- 4、大面积铺地不要铺到整流元件之前，电压采样的固定电阻下面也不要铺地，做到强、弱电分开。
- 5、去耦电阻 R16 及电容 C17、C18 靠近 IC 模拟部分保证较好的滤波效果。
- 6、用电阻网络分压取样电路，VN 应经压敏电阻后接内部电路。

## 与单片机的接口

ATT7022EU 与单片机一般有 6 条连线，其中 4 条是 SPI 口线 CS、SCLK、DIN、DOUT，一条 ATT7022EU 的复位控制线，一条握手信号线 IRQ，在应用中应注意：

- 1、ATT7022EU 采用 3.3V 电源供电，在与 5V 电源工作的单片机连线时要做电平转换。
- 2、SPI 通讯连线应尽可能短，并且周围用地线包起来，否则，SPI 传输信号线可能受到干扰。可以在 SPI 信号线上串联一个  $10\Omega$  电阻并在信号输入端加一个去耦电容，这个电阻靠近 IC 的输入端并与所接去耦电容结合起来可构成一个低通滤波器，从而可以消除接受信号的高频干扰。在保证 SPI 通讯速率正常的情况下，去耦电容可适当选大，以增强抗干扰能力，注意 CS、SCLK、DIN 所串电阻和所并电容要尽量靠近芯片，DOUT 所串电阻和所并电容要靠近单片机。虽然 ATT7022EU 本身 SPI 读写有很完善的校验手段，其信号线加强抗干扰能力还是很重要的。
- 3、单片机必须对 IRQ 信号或其状态进行监控。在上电或者 ATT7022EU 受干扰复位，必须由外部 MCU 通过 SPI 口对校表数据进行更新，以保证计量的准确性。IRQ 信号就是用来通知外部 MCU 的一个握手信号。在单片机的 IRQ 输入口处接  $0.01\mu\text{F}$  的去耦电容，增强其抗干扰能力。当然也可以检测标志状态寄存器(地址：0x2C)的 bit.7 是否置位，以确定校表数据是否需要更新。
- 4、为了在上电和单片机复位后，ATT7022EU 能与单片机同步的工作，ATT7022EU 的 RESET 信号需要由单片机控制，复位过程为 RESET 信号保持大于  $20\mu\text{s}$  低电平，芯片复位，此时 IRQ 输出高电平，然后单片机将 RESET 信号拉高，大约经  $100\mu\text{s}$  左右，ATT7022EU 完成初始化，IRQ 输出低电平信号，此后才能进行 SPI 操作。在 ATT7022EU 的 RESET 端口处接  $0.1\mu\text{F}$  的去耦电容，增强其抗干扰能力。

## 判断芯片工作是否正常

在给 ATT7022EU 上电后，如何判断芯片是否正常工作了呢？应该从下面几个方面进行检查：

- 1、芯片上的电压是否正常。通电后 VCC、AVCC 应加 3.3V 电压，VDD（芯片第 39 脚）是由芯片内部产生，这个引脚主要用于外接滤波电容，不要做它用，也不要外灌电压，正常时为 1.8V。芯片的第 5 脚为内部用参考电压，这个引脚的正常电压在 1.2V，是由内部电路产生的。
- 2、由于 ATT7022EU 计量部分采用了数字滤波器结构，所以为了保证测量精度，建议选用 5.5296MHz 的晶振，检查晶体振荡是否正常，频率及幅度是否符合要求。
- 3、RESET 信号（第 1 脚），正常工作时为高电平，如为低电平则芯片一直处于复位状态。
- 4、IRQ 信号在复位后处于低电位，当正确接受到单片机的任意一次写操作约  $2\mu\text{s}$  后，IRQ 就成为高电平。

以上信号检查正常，说明芯片处在正常的工作状态，否则，应检查接线是否正确，有无短路、虚焊等故障。

## 二、电磁兼容设计

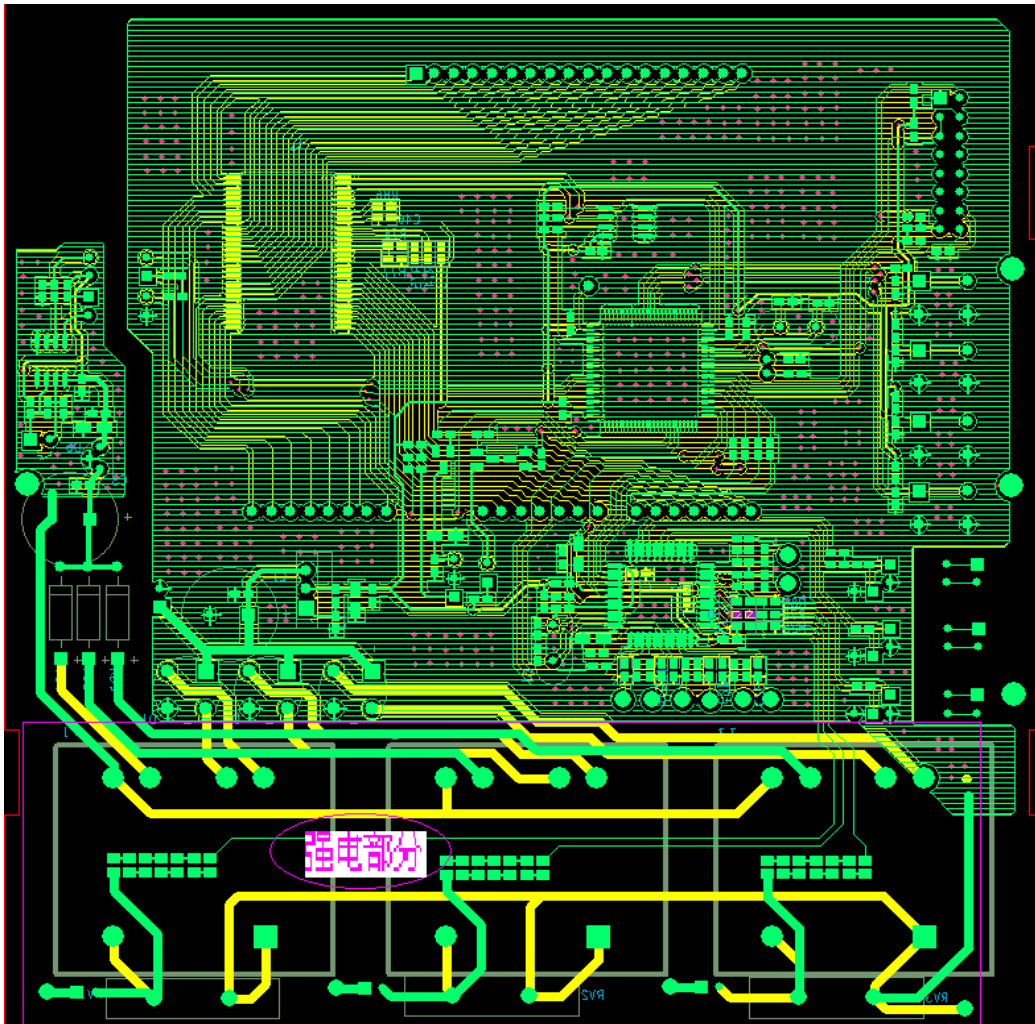
电表的电磁兼容设计是保证电表可靠性的重要环节。针对 ATT7022EU 的应用，在此给出几点建议，供大家参考。

### PCB 布线的说明

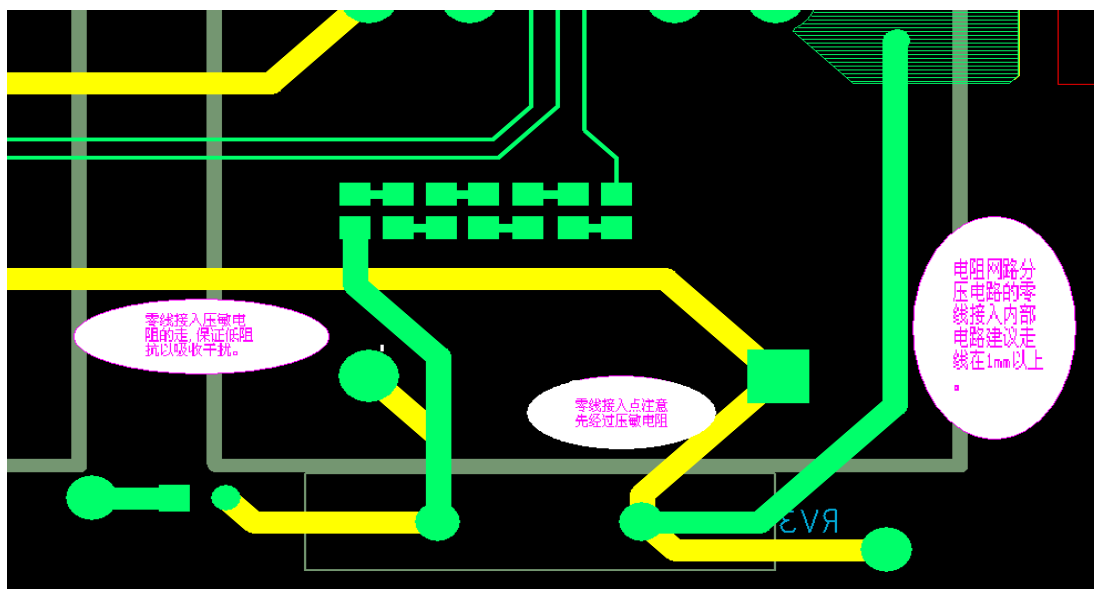
当正确的原理图设计完成后，需要将其转化为印刷线路板图，好的 PCB 设计，是获得良好的电磁兼容性能的基本保证。下图为应用 ATT7022EU 的一款 PCB。

- 1、首先在元器件的布局上应注意强、弱电信号分开。



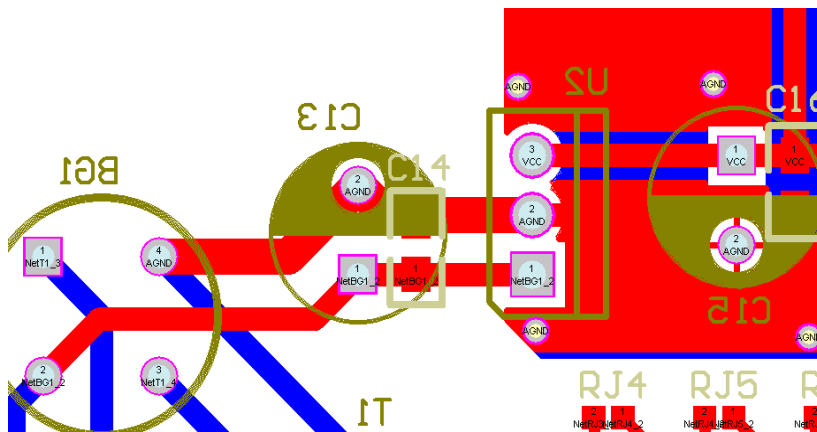


2、火线、零线首先应接入压敏电阻，从而使内部器件得到保护，在 EFT 测试时零线是一个很重要的干扰传导途径，走线要特别注意，在经过压敏电阻后，与电源变压器的连接和采样公共端的连接要很清晰的分开走，不要混在一起，这点很重要。



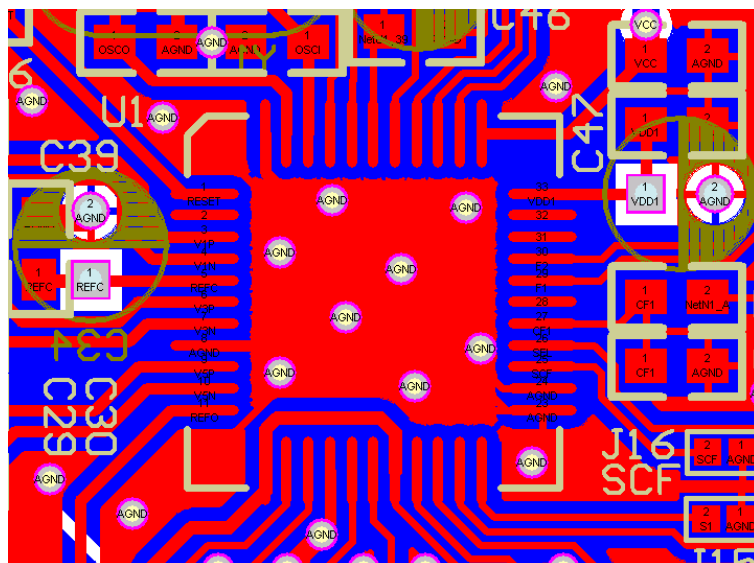
3、地线的连接对电磁兼容的性能有重要的作用，注意电源的地与信号的地的接入点。





建议稳压模块的电源输入和地单点相接，使最大限度减少由电源窜入整个系统的干扰

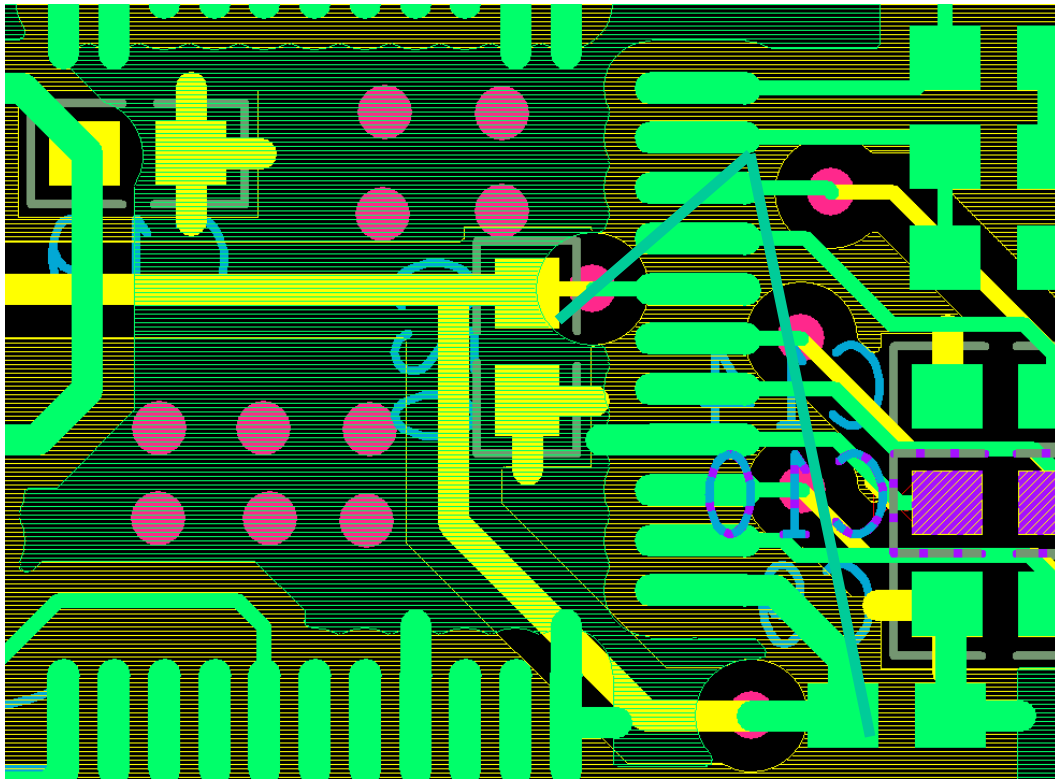
4、ATT7022EU 有多种电源 VCC、AVCC，在布线时，注意芯片的模拟地和数字地应就近接，不要区分，尽可能减小地线上的电阻、电感及分布电容。



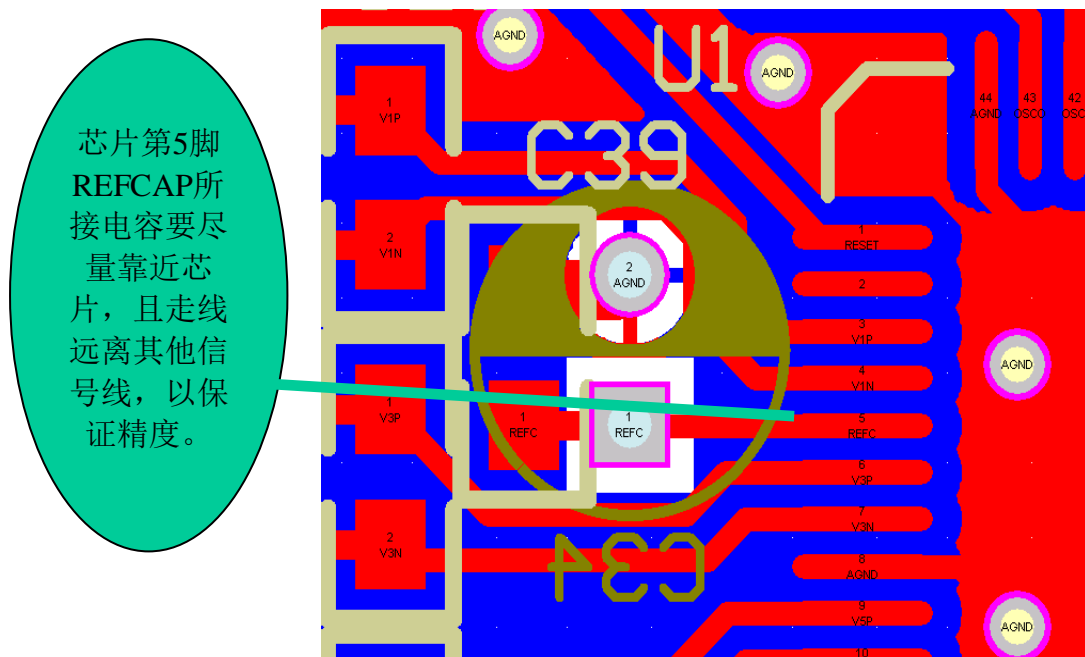
芯片的模拟地和数字地就近连接在一起，不要分开。整个地要尽可能保证完整及低阻抗

5、注意芯片电源引脚上滤波电容的位置，尤其 AVCC 引脚和 Reset 引脚的退耦电容一定要注意，先经过电容后再到芯片引脚，构成有效退耦，否则 EMC 实验可能会过不了。

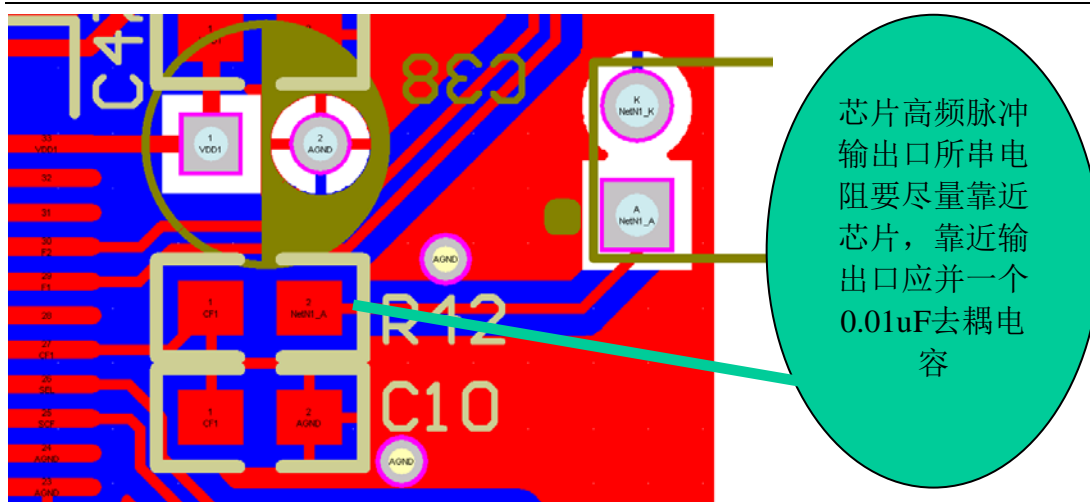
电源滤波电容要靠近芯片管脚，使信号先接滤波电容再接芯片电源引脚。且走线不要过细。尤其 AVCC 引脚的退耦电容尤其重要



6、芯片 REFCAP 脚为芯片内部模拟部分参考电压引脚，其对精度的影响非常大，外接滤波电容可以提高参考电压的稳定性。



7、通常脉冲输出线的走线较长，所串限流电阻应靠近芯片。



8、晶振是高频器件，在它的信号线附近布大面积地，不要有其他信号线从中穿过。



9、SPI 口走线尽可能短，在通讯速率允许的条件下，增加阻容滤波是防止误读、误写的措施之一，注意 CS、SCLK、DIN 所加电容和所串电阻要尽量靠近芯片，DOUT 所加电容和所串电阻尽量靠近单片机。  
10、RESET 管脚上加 0.1uF 的去耦电容，SIG 与单片机的连接加 0.01uF 的去耦电容靠近单片机。

### 三、软件设计

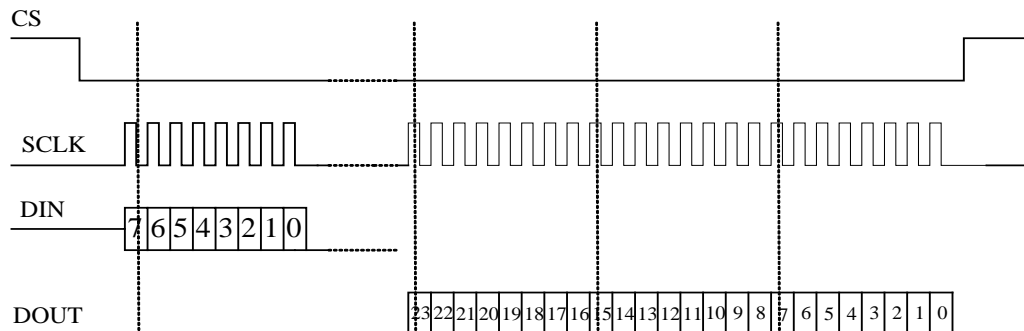
#### SPI 时序

#### 通讯

ATT7022EU 的 SPI 通讯格式是相同的，8 位地址，24 位数据，MSB 在前，LSB 在后，对每个寄存器的读写 CS 信号需动作一次，换句话说，通讯开始时 SCLK 为低电平，CS 由高到低，经过 32 个时钟脉冲 SCLK，

CS 由低到高，完成一个寄存器的读或写操作。ATT7022EU 在时钟的下降沿从 DIN 线上取单片机送出的数据，在上升沿从 DOUT 线上向单片机送出数据。

下面是读操作时序：

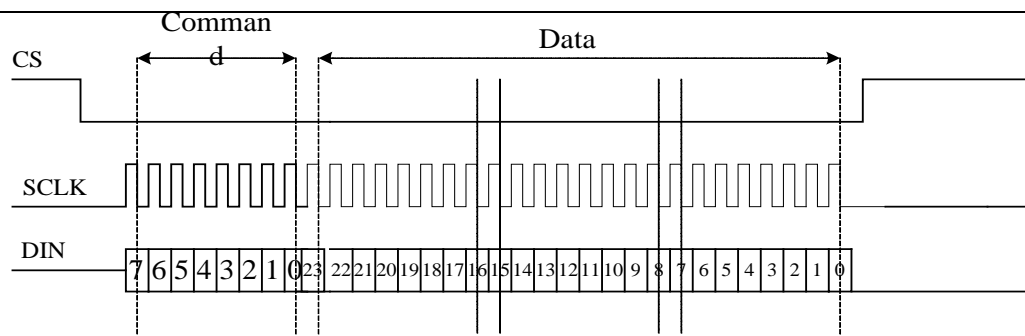


单片机送出 8 位地址后，至少等待 3 微秒后可以从 DOUT 线上读取数据。

SPI 读时序：

```
unsigned long SPI_Read(unsigned char address)
{
    char i;
    unsigned long temp_data;
    temp_data = 0;
    SPI_CLK = 0; //CLK 初始状态是 0
    SPI_CS = 0;
    SPI_CLK = 1; //启动数据传输
    SPI_DIN = 0; //0 表示主机向从机读数据
    SPI_CLK = 0; //从机需要在下降沿取数据
    for(i=6; i>=0; i--)
    {
        SPI_CLK = 1; //启动数据传输
        SPI_DIN = (address & (0x01<<i))>>i; //地址从 0x00 到 0x7F
        SPI_CLK = 0; //从机需要在下降沿取数据
    }
    Delay(2); //SCLK 高于 500kHz，需要等待 2uS
    SPI_CLK = 1; //从机接收到命令后，开始送出数据，上升沿送数据
    SPI_CLK = 0;
    temp_data = temp_data | SPI_DOUT;
    for(i=0; i<23; i++)
    {
        SPI_CLK = 1;
        temp_data = (temp_data<<1) | SPI_DOUT;
        SPI_CLK = 0;
    }
    SPI_CS = 1;
    return temp_data;
}
```

下面是写操作时序：



SPI 读写操作要掌握几个要点:

- 1、每次操作完毕要将 CS 拉高，下一次读写操作时再拉低。
- 2、CS 在拉低之前，SCLK 应处于低电平状态。
- 3、在写命令字或地址或数据时，在 SCLK 的高电平把要写进入的数据准备好，DIN 在 SCLK 的下降沿把数据采进去，读数据时则是 SCLK 上升沿 DOUT 把数据放出来。
- 4、数据放到口线上，经过几个 NOP，等待数据稳定后读入单片机或写入计量芯片。

SPI 写时序:

```
void SPI_Write(unsigned char address, unsigned long write_data)
{
    char i;
    unsigned long temp_data;
    temp_data = 1;
    SPI_CLK = 0;    //CLK 初始状态是 0
    SPI_CS = 0;
    SPI_CLK = 1;    //启动数据传输
    SPI_DIN = 1;    //1 表示主机向从机写数据
    SPI_CLK = 0;    //从机需要在下降沿取数据
    for(i=6; i>=0; i--)
    {
        SPI_CLK = 1;    //启动数据传输
        SPI_DIN = (address & (0x01<<i>))>>i; //address 地址从 0x00 到 0x7F
        SPI_CLK = 0;    //从机需要在下降沿取数据
    }
    for(i=23; i>=0; i--) //发送 24bit 数据
    {
        SPI_CLK = 1;    //启动数据传输
        SPI_DIN = (write_data & (temp_data<<i>))>>i;
        SPI_CLK = 0;    //从机需要在下降沿取数据
    }
    SPI_CS = 1;    //结束一次通讯
}
```

计量参数输出寄存器中，0x2D 为上一次 SPI 通讯数据，包括读取数据和写入数据，0x2E 为上一次通讯数据校验和，在编写 SPI 读和写的程序时，用到这 2 个寄存器做比对，可提高通讯的可靠性。另外建议在做完 SPI 写操作后，发送命令 0xC9，数据 0x000000，关闭 SPI 校表寄存器的写操作，防止校表数据寄存器被 SPI 误写，如要进行 SPI 写操作时，发送命令 0xC9，数据 0x00005A，再进行 SPI 的写操作。

ATT7022EU 还专门提供一个寄存器 ChkSum1(0x3E)，用于存放 ATT7022EU 内部所有校表数据的校验和，实时更新，定时读取校验和寄存器的值，与单片机保存的校验和值做比较，如相等则说明校表数据寄存器的数据正确，如不等说明校表数据寄存器的数据受干扰改变，需要重新送校表数据。

使用通讯备寄存器和通讯校验寄存器，校验和寄存器，以及 SIG 信号，可以从软件设计上提高产品的抗干扰能力。

## 计量参数

ATT7022EU 的所有测量值都可以从计量参数寄存器中读取，数据更新时间可配置，这些参数有：

**功率：** 全波有功功率、无功功率、视在功率，基波有功功率，其中有分各相的和合相的值。功率是有符号的量，所有的有功和无功功率都有方向，寄存器里以补码形式存放，数据的最高位表示功率的方向，0 表示正向，1 表示反向。合相功率是各分相功率的代数和，利用合相有功功率、无功功率的方向，可以做四象限功率测量。ATT7022EU 专门设置了功率方向寄存器，将各相和合相的有功、无功的功率方向集于其中，便于用户使用。

功率的计算，对分相参数是寄存器读数还原为原码（即寄存器的读数是二进制数，在读数最高位为 1 时，需寄存器读数进行取反加 1 的操作。读数最高位为 0 时，读数本身就是原码）后乘以系数 K，对合相参数是寄存器读数还原为原码后乘以 2K，其中  $K=2.592 \times 10^{-10} / (HFconst \times EC \times 2^{23})$  (EC 是脉冲常数, HFconst 为寄存器 0x1E 的写入值)，当完成功率增益补偿的校正后，这就是实际的功率了。

无功测量中采用了数字移相滤波器——希尔伯特滤波器，完成对电压信号移相 90 度的信号处理，在保证信号幅频响应不衰减的前提下，能够对 30-2500Hz 的采样信号进行移相 90 度的处理。

**功率因数和相角：** 全波分相和合相的功率因数及相角。功率因数和相角都是有符号的值，在寄存器里以补码形式存放，数据的最高位表示功率因数或相角的方向，其定义与无功功率方向定义相同，0 表示正，1 表示负。将功率因数寄存器读数还原为原码后除以  $2^{23}$  就得到功率因数值，当校表完成相位补偿后，这就是电网实际的功率因数值。

相角的计算是将寄存器读数还原为原码  $\alpha$  后， $\Phi = (\alpha / 2^{20}) \times 180$  直接计算得到，其范围为  $-180^\circ \sim +180^\circ$ ，直接做四象限的判断依据。

功率因数和相角参数都不需要校正。

**电压夹角：** ATT7022EU 给出各分相的电压的夹角，只有全波的参数，提供三个寄存器 YUaUb、YUaUc、YUbUc 分别表示 AB/AC/BC 电压的夹角。读取寄存器值  $\alpha$ ， $\Phi = (\alpha / 2^{20}) \times 180$ ，即为测量值。电压夹角参数不需要校正。

**有效值：** ATT7022EU 提供基波和全波的分相电压有效值和三相的电压矢量和有效值，以及全波的电流有效值，三相电流矢量和有效值。读取寄存器值除以  $2^{13}$ ，即为测量值。由 ATT7022B 信号处理流程可以看出有效值的增益补偿与功率增益补偿是分别进行的，即使电能误差校准了，有效值还需一一进行校正。

通常第 7 路 ADC 用于检测零线电流大小，其有效值计算公式与其它电压电流的计算公式相同，但第 7 路 ADC 需由寄存器 0x01 的 bit0 控制是否开启，Bit0=1 开启，Bit0=0 则关闭。

**三相电流矢量和：** ATT7022EU 提供三相电流的矢量和的有效值输出，在三相四线的应用中可以用它检测出零线电流的大小。为了保证该矢量和计算的精度，建议校正后的电流值与采样值接近，在单片机中将校正值乘以一个系数，得到测量值。

举例来说，在电流 Ib 输入条件下，如 Ib 为 1.5A，校正前 A 相电流寄存器的值为 66A，B 相电流寄存器的值为 63A，C 相电流寄存器的值为 61A，做电流校正时将 A、B、C 相电流值均校正到 60A，这样，做矢量和时就能保证参与计算的数据的有足够的有效位数，从而保证三相电流矢量和的精度。单片机将校正后的电流值读出后，乘以系数  $1.5/60=0.025$ ，即可得到测量值 1.5A。



电压及电流相序的检测：在三相四线的应用中，通过检测电压、电流信号的过零点的顺序来判断电压、电流的相序是否正常。只要有一相电压失压，电压逆相序标志就置位；同样只要有一相电流为零，电流逆相序标志就置位。在三相三线的应用中，电压相序是通过电压夹角的大小来做判断，这时不提供电流相序的判断功能。。在计量参数寄存器 0x2C 中，bit3、bit4 给出了电压逆相序和电流逆相序的状态标志。

失压检测：ATT7022EU 有一个断相阈值寄存器，当检测到电压有效值寄存器的值低于断相阈值寄存器的值，在计量参数寄存器 0x2C 中的 bit0、bit1、bit2 就给出了 A、B、C 各相失压状态标志。

频率：由电压信号的过零点，ATT7022EU 测量出电网的基波的频率，以补码存放在寄存器中，因频率值不可能为负，所以最高位不可能为 1。读取寄存器值除以  $2^{13}$ ，就是频率值，该参数不需要校正。

电能：ATT7022EU 提供各种电能记录数据：全波有功电能记录、全波无功电能记录、基波有功电能记录，RMS 视在电能或 PQS 视在电能。而每种记录都会提供相应的电能寄存器，通过寄存器 0x03 的 EnergyClr 位控制，读后清零还是读后不清零。

电能记录与校表脉冲同步更新，即 CF 口发一个电能脉冲，相应的电能寄存器数值加一。因此将能量寄存器的值，除以脉冲常数，即为实际用电度数。

温度：ATT7022EU 内置温度传感器，并提供一个 8 位的 ADC 对温度进行采样输出，分辨率在  $0.726^{\circ}\text{C}$  左右。寄存器低 8 位有效，该值需校正，真实温度值为  $TP = TC - 0.726 * TM$ ，TC 为校正值，TM 为寄存器所读数据，计算后的值要转换成原码，如高位为 1 则取反加 1。

温度传感器需通过寄存器 **ModuleCfg** (Addr: 0x31) 进行使能控制，只有当 **ModuleCfg** 的 Bit7/4=01 开启。

## 校表参数

校表是对各相电流增益、电压增益、功率增益、相位进行补偿。相位校正可根据精度要求，考虑分段或不分段进行。分段是按电流的大小来分，ATT7022EU 可分 2 段进行相位补偿。

ATT7022EU 的起动电流与断相阈值电压可用软件设置。

ATT7022EU 做软件校表时，一般来说电压、电流校正，起动电流设置，断相阈值电压设置，均没有顺序上的要求。但在进行功率增益校正时，请注意先设置合相能量累加模式（如缺省值为你所需要则可省去此步骤）、电压、电流通道 ADC 增益和高频输出参数，这是功率校正的条件，而后先做功率增益校正，再进行相位校正，相位校正是在完成功率增益校正后进行的。

所有的校正都是在相应的校表寄存器参数为零的条件下进行的。



### 设置模式寄存器 ModeCfg

模式配置寄存器 ModeCfg(0x01)写入推荐值：0xB9FE。开启 Vref Chopper 功能提升 Vref 性能；开启功率有效值慢速模式，减小跳动；配置 EMU 时钟 921.6kHz，降低功耗；开启 6 路 ADC，关闭 In 通道。

### 设置 EMU 单元寄存器 EMUCfg

EMU 单元配置寄存器 EMUCfg(0x03)写入推荐值：0xF804。开启能量计量(由于芯片计算校验和寄存器时存在问题，故该寄存器最高 4bit 应配置为全 1 即 0x0F, 否则校验和会出错)，使用功率作为启动依据，关闭基波功能，视在功率能量选择 PQS 方式。

### 设置模拟模块使能寄存器 ModuleCfg

模拟模块使能寄存器 ModuleCfg (0x31)写入推荐值：0x3437，开启高通滤波器；开启 BOR 电源监测电路，开启温度传感器 TPS。

### ADC 增益选择

为了增加电压、电流采样通道输入电压的范围和灵活性，ATT7022EU 提供 ADC 增益选择寄存器 PGACtrl，用于控制采样通道的 ADC 放大倍数，有 1、2、8、16 等放大倍数的选择。建议在参比电压  $U_n$  时的取样信号  $V_u$ \*放大倍数后等于 0.22V，额定电流  $I_b$  时的取样信号  $V_i$ \*放大倍数后等于 0.05V，这样可获得良好的线性特性，保证计量精度。

### 设置高频输出参数 HFreq

这是关于输出校表脉冲频率的分频系数。

$$HFConst = INT[2.592 * 10^{10} * G * G * V_u * V_i / (EC * U_n * I_b)]$$

式中： $U_n$  为参比电压， $I_b$  为额定电流，EC 为脉冲常数， $V_u$  是在参比电压输入下，芯片电压采样管脚上（V2p 与 V2n、V4p 与 V4n、V6p 与 V6n、）对应的电压（如果设置了电压通道的增益，应为经过放大后的电压）， $V_i$  是额定电流输入时芯片电流采样管脚上（V1p 与 V1n、V3p 与 V3n、V5p 与 V5n、）对应的电压（如果设置了电压通道的增益，应为经过放大后的电压），G 是常数 1.163，HFreq 为高频输出常数。

将 HFreq 值写入校表寄存器 1EH，芯片就按设计的脉冲常数发出 CF 信号。

### 设置相位补偿区域

相位的误差主要由互感器的角差和采样电路的参数不对称，信号走线不一致等引起，通常不需分段即可满足 1 级、0.5 级电能表的要求，即相位补偿区域设置寄存器 0x37 的值保持为零。

对于高精度的电能表，如 0.5S 或 0.2S，需要对相位精度做分段校正，其分段也是按电流大小设置，写入相位补偿区域设置寄存器 0x37 即可。

### 功率增益校正

功率增益校正是在功率因数为 1 的条件下进行的。建议在  $I_b$  电流点校正，并将有功功率增益、无功功率增益和视在功率增益寄存器写同样的校正值。

$$\text{校正公式: } P_{\text{gain}} = \frac{-err}{1 + err}$$

$$\text{如果 } P_{\text{gain}} \geq 0, P_{\text{gain}} = INT(P_{\text{gain}} * 2^{15})$$

$$P_{\text{gain}} < 0, P_{\text{gain}} = INT(2^{16} + P_{\text{gain}} * 2^{15})$$

注意计算公式中的电能误差 err 为不含%号的误差。

### 功率 offset 校正

按照前面推荐的电压电流采样参数，ATT7022EU 具有 3000:1 的线性范围，对于 1 级、0.5S 级表功率 Offset 不需要矫正，可以简化生产的校表时间，提高生产效率；但 0.2S 级表，或者互感器线性度较差时，可以通过功率 Offset 寄存器提高线性精度。功率 Offset 的校正可功过功率值方式进行，在小信号 5% 或者 2%Ib 1.0R 条件下进行，计算公式如下：

$$Poffset = INT[(Preal * EC * HFCONST * 2^{23} * (-Err\%)) / (2.592 * 10^{10})]$$

### 相位校正

相位校正是在功率因数为 0.5L 的条件下进行的。根据设置的相位补偿区域选择合适的校正点的电流，使得在这个区域上能得到满意的功率精度。如果不分段，建议将相位校正寄存器值 0 和 1 写同样的校正值。

$$\text{校正公式: } \theta = \frac{-err}{\sqrt{3}}$$

如果  $\theta \geq 0$ , Phsreg = INT ( $\theta * 2^{15}$ )

$\theta < 0$ , Phsreg = INT ( $2^{16} + \theta * 2^{15}$ )

相位校正公式中计算单位为弧度。

### 基波校正

ATT7022EU 的基波电能校正使用基波增益校正寄存器 LineGain (Addr: 0x34)，在基波增益寄存器 LineGain(0x34)=0x2C59(复位值)情况下进行，标准表上读出实际输入基波有效值 Ur，通过 SPI 口读出测量基波有效值寄存器的值为 DataU

校正方式：已知实际输入基波有效值 Ur

测量基波有效值 Urms=DataU/2<sup>13</sup>

$$\text{计算公式: } LineGain = INT[(Ur / Urms) * 11353]$$

LineGain 寄存器的缺省值为 0x2C59，一般情况下不用另外对基波进行校正，用其缺省值可满足精度要求，同时也要注意在基波功率校正之前先将 LineGain 寄存器写为复位值。

### 设置脉冲常数放大倍率

在实际的校表过程中的小电流输入情况下，由于电能脉冲的速度很慢而导致校表时间长，ATT7022EU 提供脉冲常数放大倍率寄存器 HFDdouble，通过填写 HFDdouble 寄存器内容不同值，可将功率放大 2、4、8、16 倍，从而提高小电流的校表速度。为避免功率放大所造成的数值溢出，该功能一般在 5%Ib 以下电流的测试中使用。注意脉冲常数放大倍率在校表完成后改回为 1，以免引起计量错误。

### 设置启动电流

复位后启动电流寄存器的默认值为 0x160，当选择电流作为启动时，对应的启动电流为 0.07%Ib (Ib 输入时电流有效值校正为 60A，且需要进行 RmsOffset 校正)，即当读到电流校正后的电流寄存器的值大于或等于 0x160 时，电表处于启动状态，可以输出电能脉冲，反之，当读到电流寄存器的值小于 0x160 时，电表处于潜动状态，不输出电能脉冲。启动电流的设置可按以下计算公式：

$$Istartup = INT[0.8 * Io * 2^{13}]$$

其中  $Io = Ib * N$  比例设置点(额定电流对应取样信号为 25mV，则  $N = 30/Ib$ ；额定电流对应取样信号

为 50mV，则  $N=60/I_b$ ；) 例如，启动电流设置为 0.4%， $I_b=1.5A$  取样信号 50mV，则  $I_o=1.5*40*0.4\%$ 。

启动电流的设置与  $I_b$  校正后的值及输入线路在小电流下的非线性程度有关，用户可根据自己的设计，调整设定的启动电流值。

#### 设置启动功率

复位后启动功率寄存器的默认值为 0x30，当选择功率作为启动时，对应的启动功率为  $0.05\%I_b$  ( $I_b$  输入时电流取样值为 50mV，电压取样值为 0.22V)，即当读到有功功率和无功功率寄存器的绝对值任意一个或两个都大于或等于 0x30 时，电表处于启动状态，可以输出电能脉冲，反之，当读到有功功率和无功功率寄存器的绝对值都小于 0x30 时，电表处于潜动状态，不输出电能脉冲。启动功率的设置可按以下计算公式精确计算：

$$P_{startup} = \text{INT}[0.6 * U_b * I_b * HF_{const} * EC * k\% * 2^{23} / (2.592 * 10^{10})]$$

#### 电压校正

电压校正相对于功率增益和相位校正是独立的，电压校正值作为一个变换系数将采样电压变换为标准电压值。

#### 电流校正

电流校正相对于功率增益和相位校正是独立的，电流校正值作为一个变换系数将采样电压变换为标准电流值，为了保证该矢量和计算的精度，建议校正后的电流值与采样值接近，在单片机中将校正值乘以一个系数，得到测量值。例如，在电流  $I_b$  输入条件下，如  $I_b$  为 1.5A，校正前 A 相电流寄存器的值为 56A，B 相电流寄存器的值为 57A，C 相电流寄存器的值为 53A，做电流校正时将 A、B、C 相电流值均校正到 60A，这样，做矢量和时就能保证参与计算的数据的有足够的有效位数，从而保证三相电流矢量和的精度。单片机将校正后的电流值读出后，乘以系数  $1.5/60=0.025$ ，即可得到测量值 1.5A。

#### 电流有效值 Offset 校正

ATT7022EU 在小电流或者无电流输入的情况下，存在零漂电流值，因此必须进行电流有效值 offset 校正，且必须在电流有效值校正前进行。根据观察，ATT7022EU 的零漂电流具有一致性，且与电表量程没有关系，即与  $I_b$  大小无关，因此可用统一的值进行 offset 校正，但具体大小与布板相关，一般 offset 校正值在 0x07~0x10 之间。

#### 设置断相阈值

在电压校正完成之后进行断相阈值的设置。

#### 全通道增益补偿

ATT7022EU 的  $V_{ref}$  在 -40~80℃ 温度范围内具有一致性，如果外围采样电阻、电容的温度特性同样具有一致性的话，就可以通过全通道增益补偿寄存器进行温度补偿，从而使得 -40~80℃ 温度范围内的精度误差控制在 0.2% 以内，满足 0.2S 级表的需求。ATT7022EU 内置有温度传感器 TPS，可用来测试外部温度，然后通过查找表得到对应温度点的补偿系数，写入到全通道增益 Allgain 寄存器中。

温度补偿系数表格的制定：

- 1、外围采用高精度电阻，只进行  $V_{ref}$  的温度补偿，则补偿表格如下（以 25 度常温为参考），补偿数值需要转换为补码形式才能写入 Allgain 寄存器：

| 温度  | -40 | -35 | -30 | -25 | -20 | -15 | -10 | -5  | 0   | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|
| 补偿值 | -67 | -58 | -49 | -41 | -34 | -28 | -22 | -17 | -12 | -9 | -6 | -3 | -2 | 0  |

|     |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |  |  |  |
|-----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|
| 温度  | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60  | 65  | 70  | 75  | 80  |  |  |  |
| 补偿值 | 0  | 0  | -2 | -3 | -6 | -9 | -12 | -17 | -22 | -28 | -34 |  |  |  |

- 2、外围电阻采用一般电阻(一致性需要保证), 进行整表的温度补偿, 则需要研发时先进行一次高低温实验, 得到样表的高低温曲线, 再根据整表的精度误差 Err 曲线, 计算补偿值表格。根据精度误差 err 计算补偿值公式如下(注意误差的%符号, 标准表上读到的误差 0.2%=0.002):

$$\text{Allgain} = \frac{-err/2}{1+err/2}$$

#### 四、 软件校表程序示例

软件校表流程如下: (写操作时, 将校表寄存器地址最高位置 1, 称其为命令, 如写寄存器 20H, 命令为 0A0H)

- (1) 复位 ATT7022EU, 检测到 IRQ 为低时送校表数据, 这步可省略。
- (2) 填写模式配置寄存器 0x01 (命令 81H), 推荐值 B9FE, 开启 Vref Chopper 功能提升 Vref 性能; 开启功率有效值慢速模式, 减小跳动; 配置 EMU 时钟 921.6kHz, 降低功耗; 开启 6 路 ADC, 关闭 In 通道。
- (3) 填写 EMU 单元配置寄存器 0x03 (命令 83H), 推荐值: 0xF804。开启能量计量(由于芯片计算校验和寄存器时存在问题, 故该寄存器最高 4bit 应配置为全 1 即 0x0F, 否则校验和会出错), 使用功率作为启动依据, 关闭基波功能, 视在功率能量选择 PQS 方式。
- (4) 填写模拟模块使能寄存器 0x31 (命令 0B1H), 推荐值: 0x3437, 开启高通滤波器; 开启 BOR 电源监测电路, 开启温度传感器 TPS。
- (5) 填写 ADC 增益寄存器 0x02 (命令 82H), 设置采样通道 ADC 放大倍数。
- (6) 填写高频脉冲输出参数到校表寄存器 1EH (命令 9EH)。
- (7) 填写启动电流到校表寄存器 0x1D (命令 9DH), 若选用功率作为启动则不做此步, 默认的启动电流值为基本电流的 0.07%。
- (8) 填写启动功率寄存器 0x36 (命令 0B6H), 若选用电流作为启动则不做此步, 默认的启动功率值为基本电流的 0.05%。
- (9) 写断相阈值电压到校表寄存器 0x1FH (命令 9FH), 若不做此步, 默认的断相阈值电压为参比电压的 10% (对三相四线而言) 或 60% (对三相三线而言)。

- (10) 写相位补偿区域设置到校表寄存器 0x37 (命令 0B7H), 若不做此步, 表示不分段相位校准, 此时相位校正值默认取区域 1 相位校正寄存器的值。若写了相位补偿区域设置寄存器 (分段按电流大小进行设置), 则低于相位补偿区域设置分段点电流的相位校正值写入相位校正寄存器 1; 高于相位补偿区域设置分段点电流的相位校正值写入相位校正寄存器 0。
- (11) 电表在输入三相电压, 分别给 A、B、C 相输入基本电流, 功率因数为 1 的条件下, 根据测得的各相电能误差值, 写功率增益值到相应相的校表寄存器: 有功增益校正寄存器、无功功率增益校正寄存器和视在功率增益校正寄存器。
- (12) 电表在输入三相电压, 分别给 A、B、C 相输入基本电流, 功率因数为 0.5L 的条件下, 根据测得的各相电能误差值, 写相位校正值到相位补偿校表寄存器 0/1 中, 如果不分段, 则相位补偿寄存器 0 和相位补偿寄存器 1 都写同样的值。
- (13) 电表在输入三相电压, 分别给 A、B、C 相输入 5%或者 2%基本电流, 功率因素为 1 的条件下, 根据测得的各相电能误差值, 写功率 offset 值到相应相的功率 offset 校表寄存器, 完成小信号精度校正。
- (14) 输入参考电压, 根据电压显示值, 分别写校正值到电压增益校表寄存器 17H、18H、19H 中。
- (15) 输入基本电流, 根据电流显示值, 分别写校正值到电流增益校表寄存器 1AH、1BH、1CH 中。

**注意:** \*校表是在相应的校表寄存器内容为零的条件下进行。

### 软件校表应用举例:

以 1.5 (6)A, 220V 三相四线表为例, 设计参数如下:

脉冲常数 EC 为 3200imp/kWh, 额定电流输入时, 电流通道的输入电压  $V_i$  为 0.22V, 参比电压输入时, 电压通道的输入电压  $V_u$  为 0.05V。

以下子程序用 8051 的汇编语言写成, 入口: A 寄存器放命令 (对于写操作) 或地址 (对于读操作), 20H、21H、22H 为存放写数据的寄存器, 30H、31H、32H 为存放读出数据的寄存器, R0 寄存器存放写入或读出的内容的首地址, R3 寄存器放写或读的字节数。WR\_SPI 为写 ATT7022EU 的子程序, RE\_SPI 为读 ATT7022EU 的子程序。

#### (1)复位 ATT7022EU

RESET7022E:

```
CLR  ATT7022EU_RST
MOV  R7, #20H          ; 延时
```

DELAY1: NOP

```
DJNZ R7, DELAY1
SETB ATT7022EU_RST
MOV  R7, #0FFH        ; 延时
```

DELAY2: NOP

```
DJNZ R7, DELAY2
RET
```

#### (2)填写电压通道模式控制寄存器 (0x01):

```
MOV 20H, #00H
MOV 21H, #B9H
MOV 22H, #FFH
MOV A, #81H
LCALL WR_SPI
```

(3)写 HFConst:

$$\text{HFConst} = \text{INT}[2.592 \times 10^{10} \times G \times G \times V_u \times V_i / (EC \times Un \times Ib)]$$
$$= \text{INT}[2.592 \times 10^{10} \times 1.163 \times 1.163 \times 0.22 \times 0.05 / (3200 \times 220 \times 1.5)]$$
$$= \text{INT}[365.193] = 365 = 16DH$$

```
MOV 20H, #00H
MOV 21H, #01H
MOV 22H, #6DH
MOV A, #9EH
LCALL WR_SPI
```

(4)写起动电流, 设置点为 0.4%:

$$I_o = 1.5 \times 40 \times 0.4\% = 0.24$$
$$I_{\text{startup}} = 0.8 \times I_o \times 2^{13} = 0.8 \times 0.24 \times 2^{13} = 1572 = 624H$$

```
MOV 20H, #00H
MOV 21H, #06H
MOV 22H, #24H
MOV A, #9DH
LCALL WR_SPI
```

(5)写 A 相功率增益:

三相电压输入 220 伏, 仅输入 A 相电流 1.5 安培, 功率因数为 1.0, 标准表的电能误差读数为 -0.74%, 即  $\text{err} = -0.0074$ , 则:

$$\text{Pgain} = \frac{-\text{err}}{1 + \text{err}} = 0.0074 / (1 - 0.0074) = 0.00745516$$

$$\text{Pgain} = \text{Pgain} \times 2^{15} = 0.00745516 \times 2^{15} = 244 = 0F4H$$

```
MOV 20H, #00H
MOV 21H, #00H
MOV 22H, #0F4H
MOV A, #84H
LCALL WR_SPI
MOV A, #87H
LCALL WR_SPI
MOV A, #8AH
LCALL WR_SPI
```

; 将有功、无功、视在增益寄存器写同样的校正值

; 将有功、无功、视在增益寄存器写同样的校正值

(6)写 A 相相位校正:



三相电压输入 220 伏，仅输入 A 相电流 1.5 安培，功率因数为 0.5L，标准表的电能误差读数为 0.34%，err=0.0034，则：

$$\theta = -0.0034/1.732 = -0.001963 < 0$$

$$\text{Phsreg} = 2^{16} + \theta * 2^{15} = 65471 = \text{FFBFH}$$

MOV 20H, #00H

MOV 21H, #0FFH

MOV 22H, #0BFH

MOV A, #8DH

LCALL WR\_SPI

MOV A, #90H

；不分段，将 2 段的寄存器写同样的校正值

LCALL WR\_SPI

(7)写 B 相功率增益：

三相电压输入 220 伏，仅输入 B 相电流 1.5 安培，功率因数为 1.0，标准表的电能误差，标准表的电能误差读数为 1.26%，err=0.0126，则：

$$\text{Pgain} = \frac{-err}{1+err} = -0.0126/(1+0.0126) = -0.01244322 < 0$$

$$\begin{aligned} \text{Pgain} &= 2^{16} + \text{Pgain} * 2^{15} \\ &= 2^{16} - 0.01244322 * 2^{15} = 65128 = \text{FE68H} \end{aligned}$$

MOV 20H, #00H

MOV 21H, #0FEH

MOV 22H, #68H

MOV A, #85H

LCALL WR\_SPI

MOV A, #88H

；将有功、无功、视在增益寄存器写同样的校正值

LCALL WR\_SPI

MOV A, #8BH

；将有功、无功、视在增益寄存器写同样的校正值

LCALL WR\_SPI

(8)写 B 相相位校正

三相电压输入 220 伏，仅输入 B 相电流 1.5 安培，功率因数为 0.5L，标准表的电能误差读数是 -0.34%，err=-0.0174，则：

$$\theta = 0.0034/1.732 = 0.001963 > 0$$

$$\text{Phsreg} = \theta * 2^{15} = 64 = 40H$$

MOV 20H, #00H

MOV 21H, #00H

MOV 22H, #40H



```
MOV A, #8EH
LCALL WR_SPI
MOV A, #91H ; 不分段, 将 2 段的寄存器写同样的校正值
LCALL WR_SPI
```

(9)写 C 相功率增益

三相电压输入 220 伏, 仅输入 C 相电流 1.5 安培, 功率因数为 1.0, 标准表测得的电能误差是 0.5%, ERR=0.005, 则:

$$Pgain = \frac{-err}{1+err} = -0.005/(1+0.005) = -0.00497512 < 0$$

$$Pgain = 2^{16} + Pgain * 2^{15} = 2^{16} - 0.00497512 * 2^{15} = 65372 = FF5CH$$

```
MOV 20H, #00H
MOV 21H, #0FFH
MOV 22H, #5CH
MOV A, #86H
LCALL WR_SPI
MOV A, #89H ; 将有功、无功、视在增益寄存器写同样的校正值
LCALL WR_SPI
MOV A, #8CH ; 将有功、无功、视在增益寄存器写同样的校正值
LCALL WR_SPI
```

(10)写 C 相相位校正

三相电压输入 220 伏, 仅输入 C 相电流 1.5 安培, 功率因数为 0.5L, 标准表的电能误差读数是 0.24%, err=0.0024, 则:

$$\theta = -0.0024/1.732 = -0.001385681 < 0$$

$$Phsreg = 2^{16} + \theta * 2^{15} = 65490 = FFD2H$$

```
MOV 20H, #00H
MOV 21H, #0FFH
MOV 22H, #0D2H
MOV A, #8FH
LCALL WR_SPI
MOV A, #92H ; 不分段, 将 2 段的寄存器写同样的校正值
LCALL WR_SPI
```

(11)写 A、B、C 相电压校正:

三相电压输入 220 伏, 三相电流输入 1.5 安培, 功率因数 1.0, 电压寄存器的值 Vu 分别为 0x209275=2134645, 0x208564=2131300, 0x1FF4CC=2094285, 经有效值计算:

$$Urms = Vu * 2^{10}/2^{23} = Vu/2^{13}$$

电能表上的电压读数分别为 260.576V、260.168V、255.650V, 电压校正值为:

$$Ugain = Ur/Urms - 1$$

其中 Ur 为标准表的电压读数。

A 相电压校正值  $U_{gain} = 220/260.576 - 1 = -0.155716 < 0$   
 $U_{gain} = \text{INT}(2^{16} + U_{gain} * 2^{15}) = 0xEC11$

```
MOV 20H, #00H
MOV 21H, #0ECH
MOV 22H, #11H
MOV A, #97H
LCALL WR_SPI
```

B 相电压校正值  $U_{gain} = 220/260.168 - 1 = -0.1543925 < 0$   
 $U_{gain} = \text{INT}(2^{16} + U_{gain} * 2^{15}) = 0xEC3C$

```
MOV 20H, #00H
MOV 21H, #0ECH
MOV 22H, #3CH
MOV A, #98H
LCALL WR_SPI
```

C 相电压校正值  $U_{gain} = 220/255.650 - 1 = -0.139448 < 0$   
 $U_{gain} = \text{INT}(2^{16} + U_{gain} * 2^{15}) = 0xEE26$

```
MOV 20H, #00H
MOV 21H, #0EEH
MOV 22H, #26H
MOV A, #99H
LCALL WR_SPI
```

(2) 写 A、B、C 相电流校正:

三相电压输入 220 伏, 三相电流输入 1.5 安培, 功率因数 1.0, 读电流寄存器的值  $V_i$  分别为 0x7C000=507904, 0x75CCC=482508, 0x77D78=491520, 经有效值计算:

$$U_{rms} = V_i * 2^{10} / 2^{23} = V_i / 2^{13/40}$$

电能表上的电压读数分别为 1.55A, 1.4725A, 1.498A, 电流校正值为

$$I_{gain} = I_r / I_{rms} - 1$$

其中  $I_r$  为标准表的电流读数。

A 相电流校正值  $I_{gain} = 1.5/1.55 - 1 = -0.032258 < 0$

$$I_{gain} = \text{INT}(2^{16} + I_{gain} * 2^{15}) = 0xFBDE$$

```
MOV 20H, #00H
MOV 21H, #0FBH
MOV 22H, #0DEH
MOV A, #9AH
LCALL WR_SPI
```

B 相电流校正值  $I_{gain} = 1.5/1.4725 - 1 = 0.01867572 > 0$

$$I_{gain} = \text{INT}(I_{gain} * 2^{23}) = 0x263$$

```
MOV 20H, #00H
MOV 21H, #02H
MOV 22H, #63H
MOV A, #9BH
LCALL WR_SPI
```

C 相电流校正值  $I_{gain}=1.5/1.498-1=0.0013351$   
 $I_{gain}=INT(I_{gain}*2^{15})=0x2B$

```
MOV 20H, #00H
MOV 21H, #00H
MOV 22H, #2BH
MOV A, #9CH
LCALL WR_SPI
```

子程序:

```
WR_SPI:
    MOV R0, #20H
    MOV R3, #03H
    SETB SPI_CS
    CLR SPI_CK
    CLR SPI_CS
    ACALL OTB
WR_SPI1:MOV A, @R0
    INC R0
    ACALL OTB
    DJNZ R3, WR_SPI1
    SETB SPI_CS
    RET
```

读寄存器操作:

入口: A 寄存器为读计量参数寄存器的地址

出口: R0 所指的连续三个寄存器存放所读计量参数寄存器的内容

```
MOV A, #04H
LCALL RE_SPI
```

```
RE_SPI: MOV R3, #03H
    MOV R0, #30H
    SETB SPI_CS
    CLR SPI_CK
    CLR SPI_CS
    ACALL OTB
    SETB SPI_DO
```

---

```
RE_SPI1:MOV A, #00H
        ACALL INB
        MOV @R0, A
        INC R0
        DJNZ R3, RE_SPI1
        SETB SPI_CS
        RET
```

```
OTB:    MOV R2, #08H
OTB1:    SETB SPI_CK
        RLC A
        MOV SPI_DI, C
        NOP
        NOP
        NOP
        CLR SPI_CK
        DJNZ R2, OTB1
        RET
```

```
INB:    MOV R2, #08H
INB1:    SETB SPI_CK
        NOP
        NOP
        NOP
        MOV C, SPI_DO
        RLC A
        CLR SPI_CK
        DJNZ R2, INB1
        RET
```