

## ATT7022A 的应用笔记

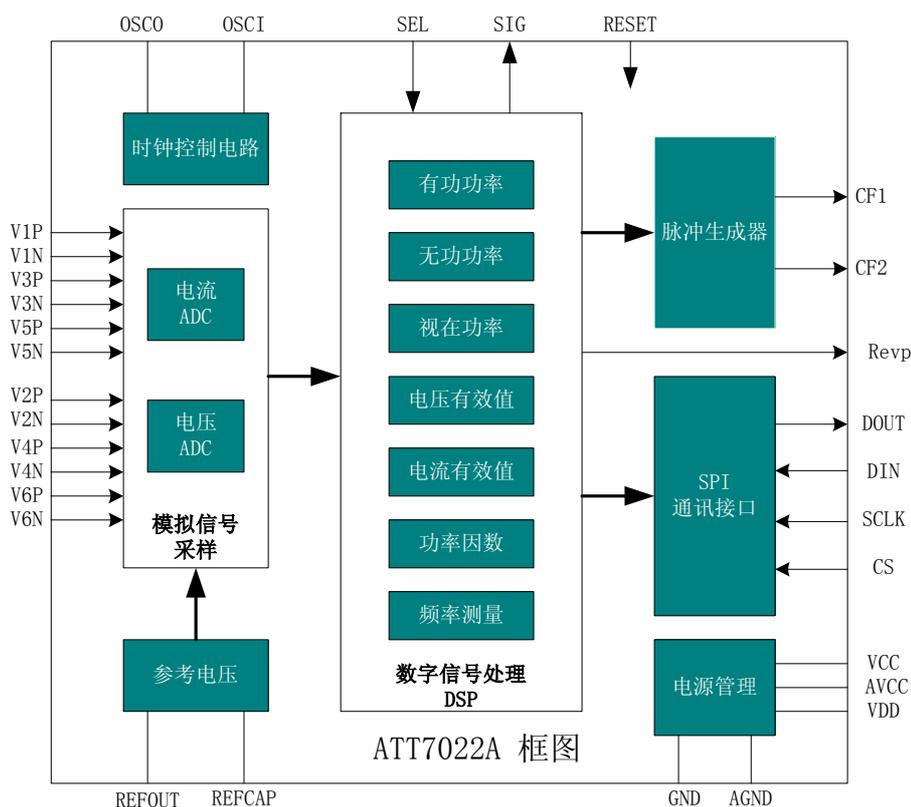
本应用笔记介绍了用 ATT7022A 做多功能电能表的设计方法，供大家参考，在阅读该应用笔记前，建议先仔细阅读 ATT7022A 的用户手册。

www.datasheet4u.com

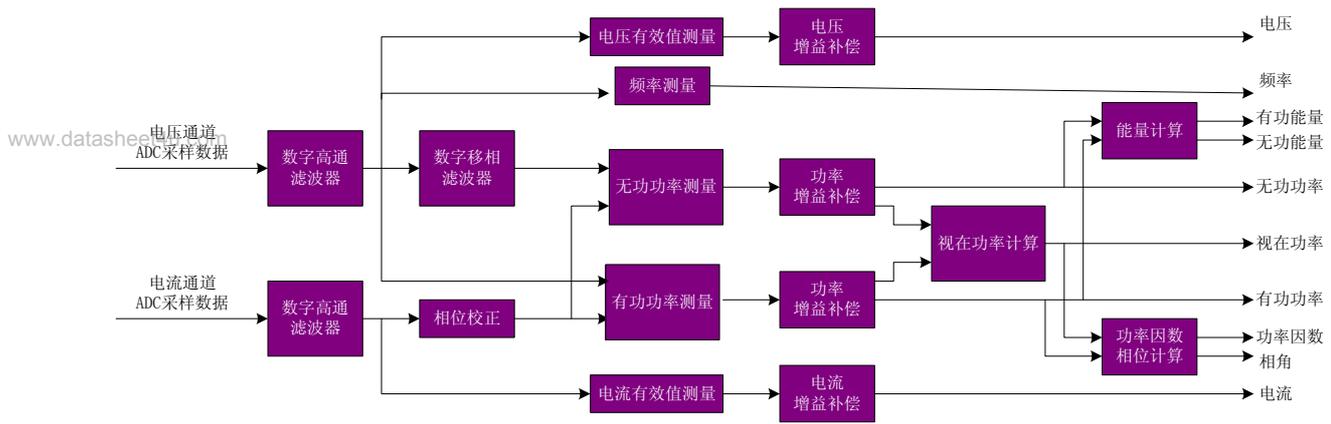
ATT7022A 主要有以下特点：

- 有功精度满足 0.5S、0.2S，动态范围 1000: 1，符合 IEC62053-22 的要求
- 无功精度满足 0.5S，动态范围 1000: 1，支持 IEC1268
- 提供有功、无功电能脉冲输出
- 当任意一相功率反向时，有反向指示
- 提供正向和反向有功、无功电能数据
- 可测量各相和合相瞬时有功、无功、视在功率
- 可测量各相电压、电流、功率因数，相位以及合相功率因数、相位
- 可测量电网频率
- 可测量电压信号夹角
- 对三相四线应用，提供三相电流向量和的有效值
- 提供电压相序及断相检测功能
- 提供电流相序的检测
- 具有 SPI 接口，方便的进行软件调试电表，读测量数据
- 可测量含 21 次谐波的有功和无功功率
- 适用于三相三线和三相四线电表
- 在三相三线应用中，B 相不参与电能计量，可做为独立的信号输入，其电压、电流、功率、功率因数值可读
- 提供电压通道增益选择
- 提供小信号下脉冲常数加倍功能，从而缩短小信号校表时间

其内部构造如下图所示：



它的信号处理流程如下图所示:



数字信号处理框图

## 一、 硬件电路设计

ATT7022 封装为 44 脚 QFP 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

ATT7022A 内部集成了 6 路 16 位 A/D 转换器，电流通道有效值在 2mV 至 1V 的范围内线性误差小于 0.1%；电压通道有效值在 10mV 至 1V 的范围内线性误差小于 0.1%；电压取值在 0.2V 到 0.6V，（电压采样信号小于 0.2V，可用电压通道 ADC 增益选择，将采样信号适当的放大），电流取值在 2mV 至 1V， 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，同时要求 VxP、VxN 迭加 2.4V 左右直流偏置电压，该偏置电压可以由芯片的参考电压输出 REFOUT 获得，也可以由外部基准电压提供。

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 和图 2）、电压互感器（如图 3）或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 4），后一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 1 将零线 Vn 与芯片的参考电压输出 REFO 连起来，方便地实现了将交流采样信号迭加在 2.4V 的偏置直流上，图 2 的电路将零线与芯片的地连接，适用于电源采用自耦变压器的应用场合。

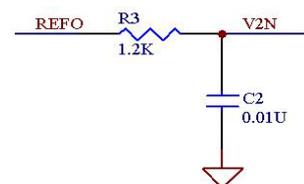
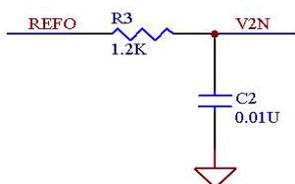
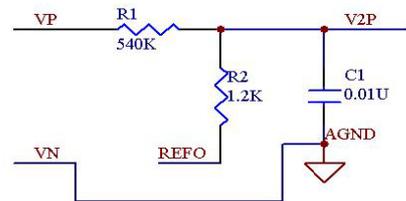
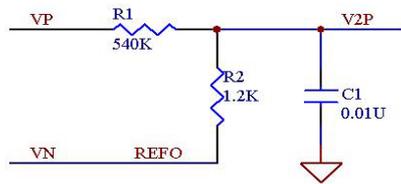


图 1 电压采样采用电阻分压输入（零线接参考输出） 图 2 电压采样采用电阻分压输入（零线接地）

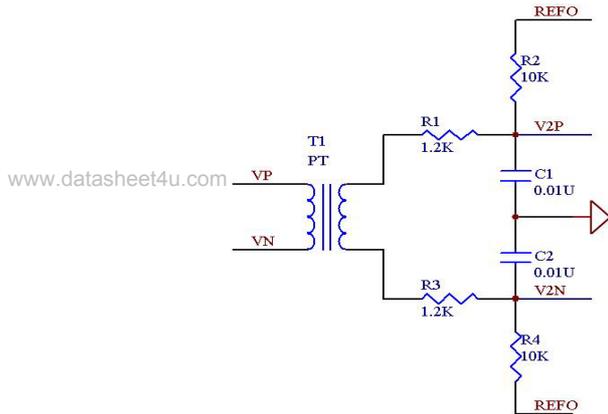


图 3 电压采样采用电压互感器方式

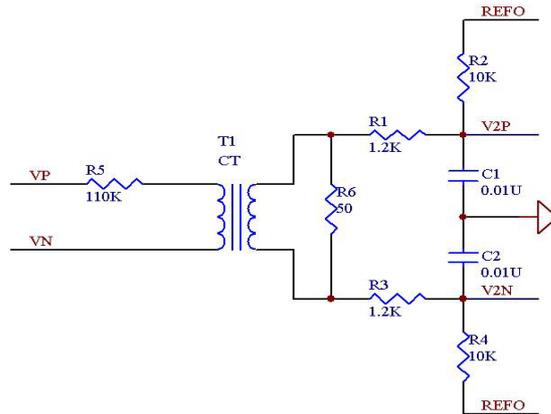


图 4 电压采样采用 1:1 的电流互感器方式

以上图中 VP 与 VN 接电网电压的火线和零线，图中的参数是对 220V 为参考电压而设计的，图 3 中采用了 PT，将 220V 变换为 0.2V 到 0.6V 的采样信号，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。

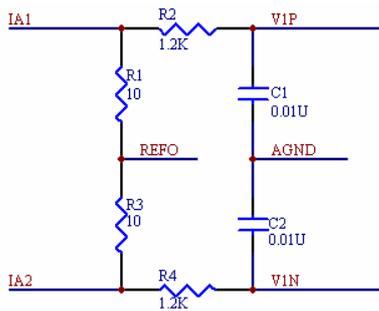


图 5 电流采样差分输入

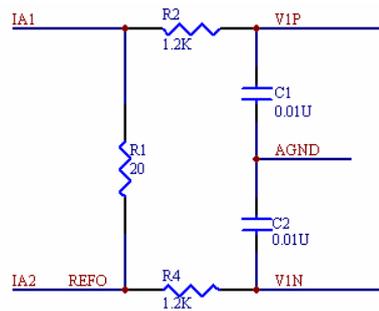


图 6 电流采样单端输入

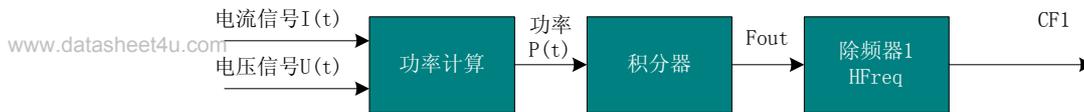
图 5 与图 6 中 IA1、IA2 是电流互感器的二次侧信号。

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 的直流偏置电压为 2.4V 左右，偏置电压由芯片的第 11 脚 REFOUT 提供，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 10uF 和 0.1uF 应尽量靠近管脚处，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，这时芯片第 25 脚 SEL 选择为低电平，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、功率因数可读。

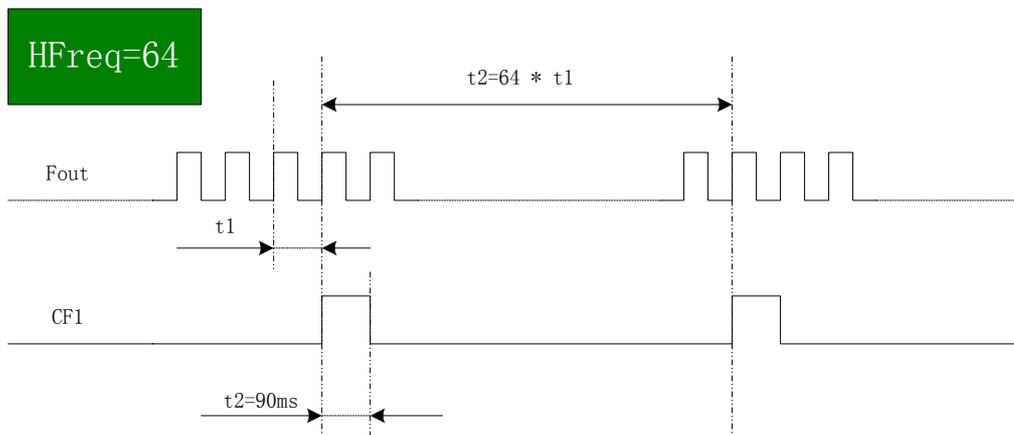
## 电能脉冲输出电路

下面是电能脉冲信号生成的过程框图：



电压、电流信号经变换后在 DSP 中相乘得到瞬时功率，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。

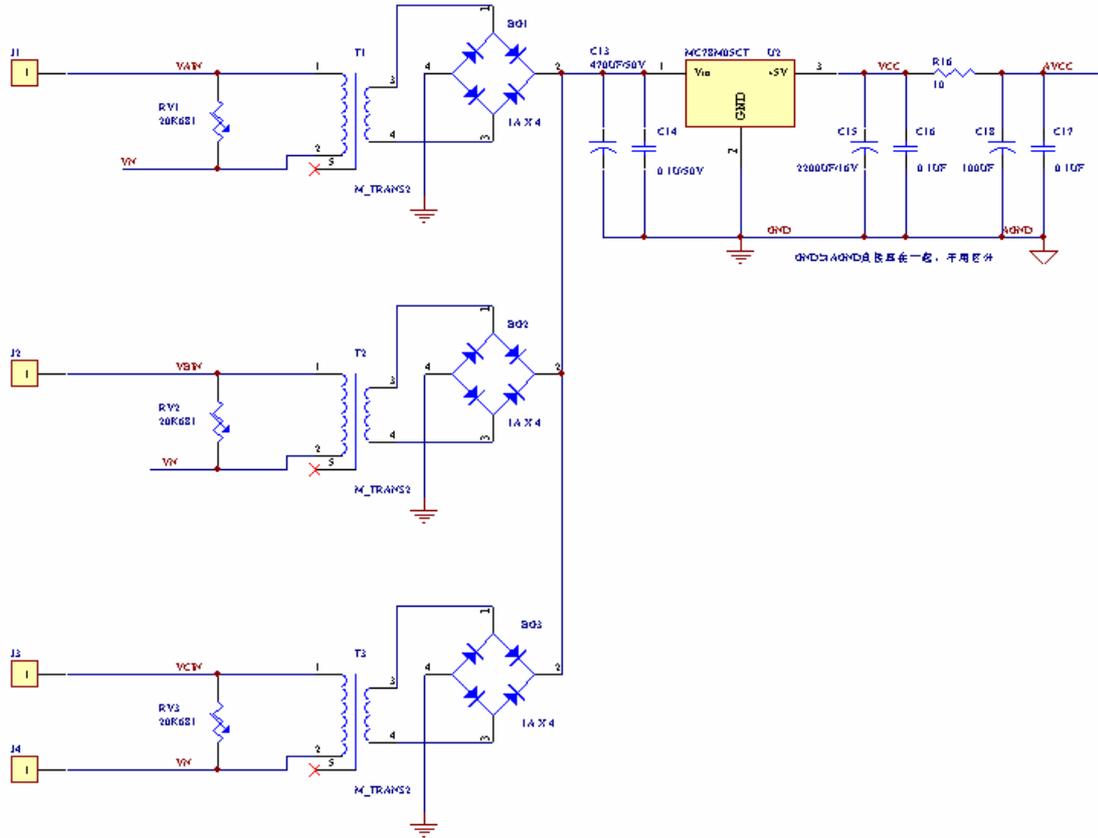


在进行电能脉冲输出信号设计时应注意以下几点：

- 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。ATT7022A 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。通过给校表寄存器 0x2A 写 0x000001，可以改变合相能量累加方式。
- 2、在电能脉冲输出口 CF1 上靠近管脚处接去耦电容。这可以使电表的设计获得良好的电磁兼容性。

## 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  $5V \pm 5\%$  以内。
- 2、建议在 7805 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,以保证地的低阻特性。
- 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、用电阻网络分压取样电路,建议 VN 经压敏电阻后接芯片的内部电路。

## 与单片机的接口

ATT7022A 与单片机有 6 条连线,其中 4 条是 SPI 口线 CS、SCLK、DIN、DOUT,一条 ATT7022A 的复位控制线,一条握手信号线 SIG,在应用中应注意:

- 1、所有信号高电平为 5V,在与 3V 电源工作的单片机连线时,中间应接电平转换电路。
- 2、SPI 通讯连线应尽可能短,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,这个电阻与 IC 输入端的寄生电容 C 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 SPI 通讯速率允许的条件下,还可在信号线的输入端加一个去耦电容,以增强抗干扰能力。
- 3、单片机必须对 SIG 信号或其状态进行监控。在上电或者 ATT7022A 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。SIG 信号就是用来通知外部 MCU 的一个握手信号。在 ATT7022A 的 SIG 端口处接 10nF 的去耦电

容，增强其抗干扰能力。当然也可以不用 SIG 信号，可以检测工作状态寄存器的 bit. 16 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，ATT7022A 能与单片机同步的工作，ATT7022A 的 RESET 信号需要由单片机控制，复位过程为 RESET 信号保持大于 30us 低电平，芯片复位，此时 SIG 输出高电平，然后单片机将 RESET 信号拉高，大约经 500us 左右，ATT7022A 完成初始化，SIG 输出低电平信号，此后才能进行 SPI 操作。在 ATT7022A 的 RESET 端口处接 0.1uF 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 ATT7022A 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 5V 电压，VDD（芯片第 33 脚和第 39 脚）是由芯片内部产生，正常时为 3.0V 左右。芯片的第 5 脚为内部用参考电压，第 11 脚为参考电压输出，用于为外部输入电路提供直流偏置，这两个引脚的正常电压在 2.3V 到 2.7V，是由内部电路产生的。
- 2、由于 ATT7022A 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 24.576MHz 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、SIG 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后，SIG 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。

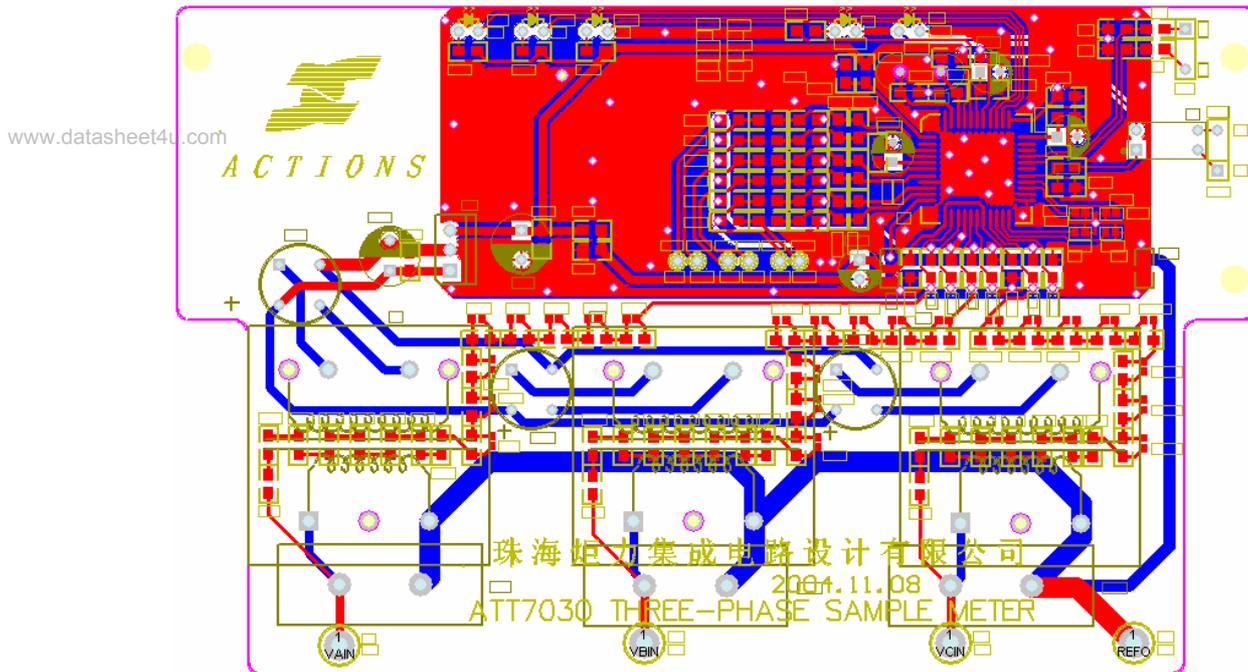
## 二、电磁兼容设计

电表的电磁兼容设计是保证电表可靠性的重要环节。针对 ATT7022A 的应用，在此给出几点建议，供大家参考。

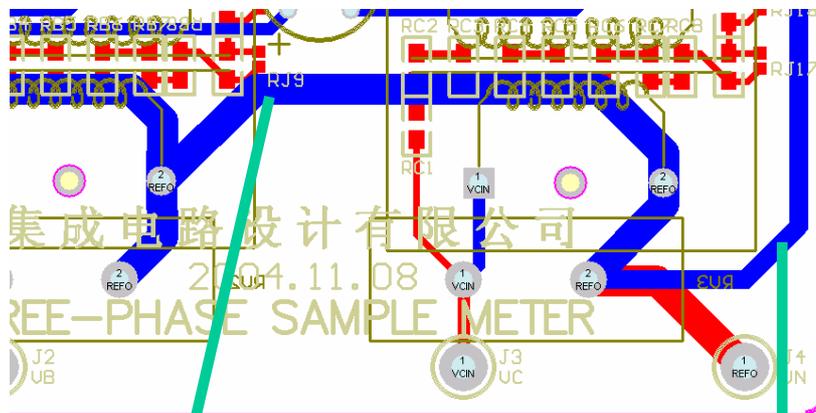
### PCB 布线的说明

当正确的原理图设计完成后，需要将其转化为印刷电路板图，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 ATT7030A 的一款 PCB。

1、首先在元器件的布局上应注意强、弱信号分开。



2、火线、零线及 REFOUT 首先应接入压敏电阻，从而使内部器件得到保护。

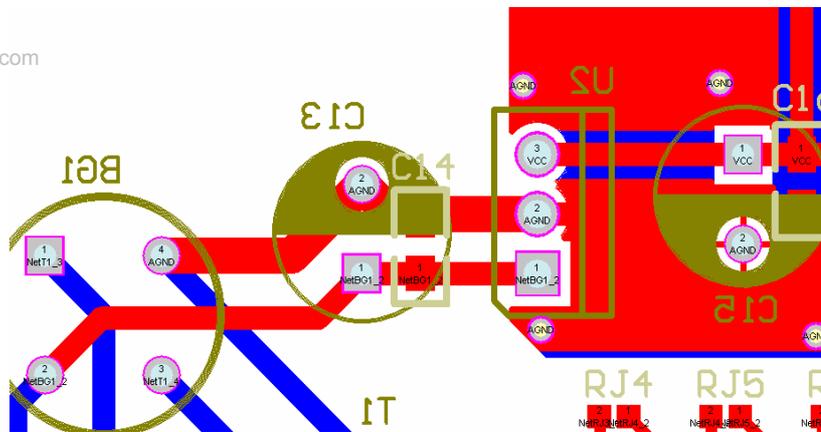


零线连接压敏电阻的走线越粗越好，保证低阻抗以吸收干扰。

电阻网络分压电路中零线接入内部电路的走线建议宽度在1mm以上。

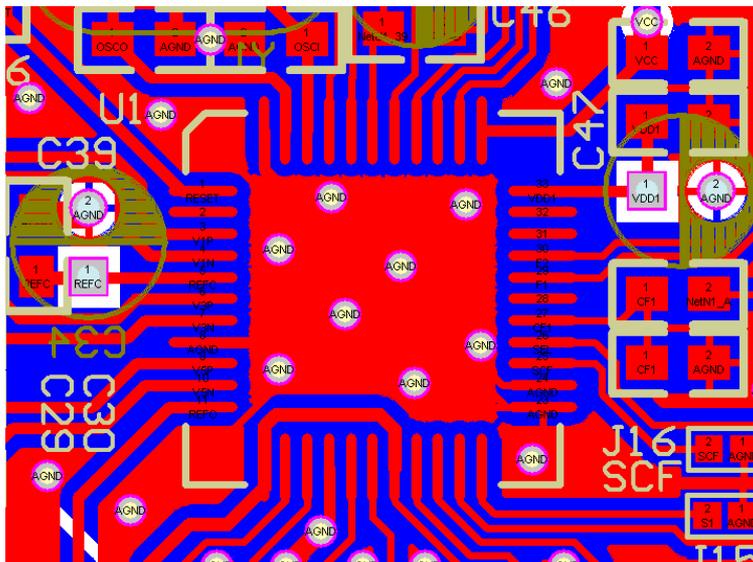
3、地线的连接对电磁兼容的性能有重要的作用，注意电源的地与信号的地的接入点。

www.datasheet4u.com



建议稳压模块的电源输入和地单点相接，使电源上的干扰不会窜入整个系统

4、ATT7022A 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大面积地，尽可能减小地线上的电阻、电感及分布电容。

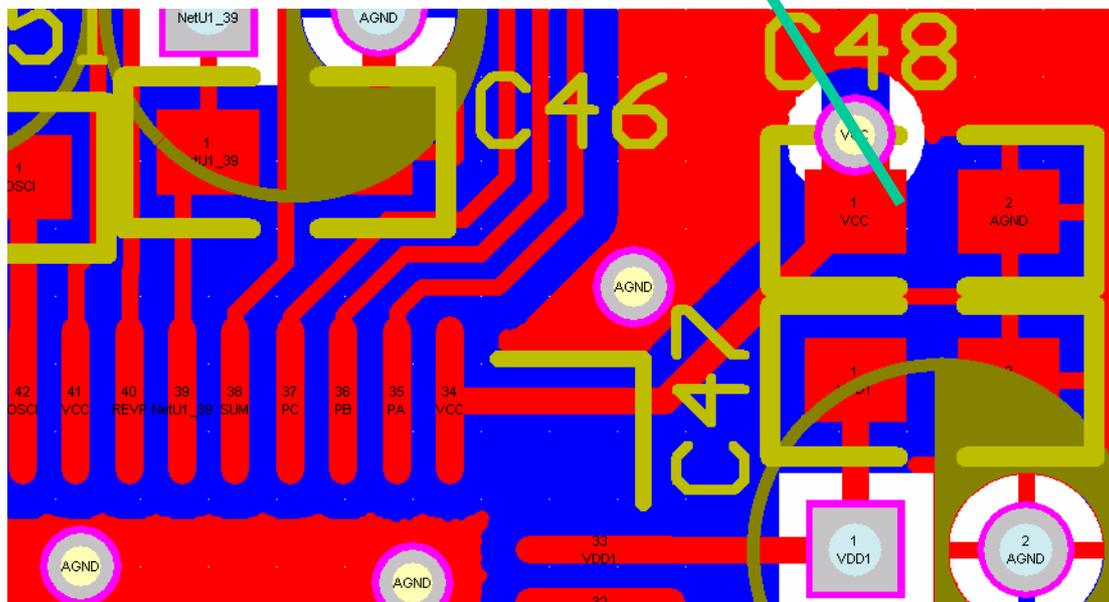


整个系统的模拟地和数字地就近连接在一起，不要分开。整个地要尽可能保证大面积、完整及低阻抗

5、注意芯片电源引脚上滤波电容的位置。

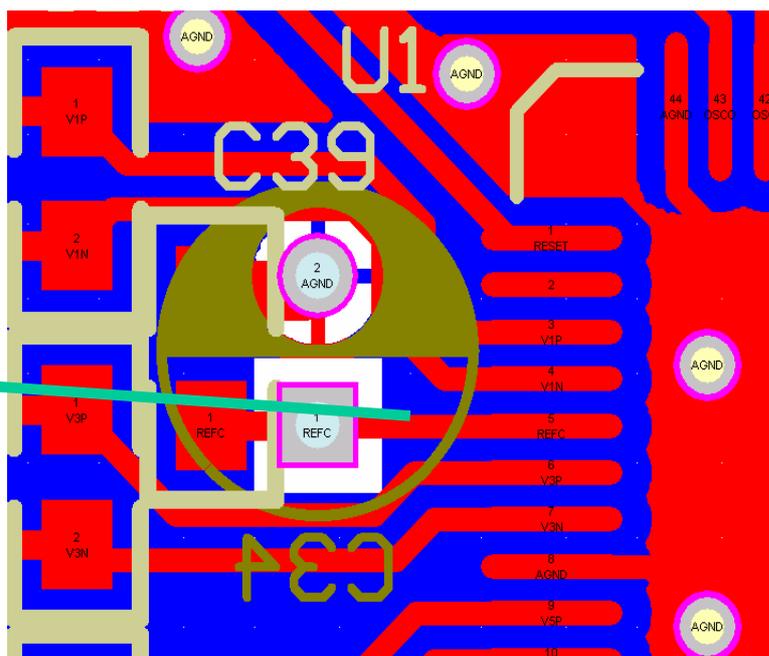
电源滤波电容要靠近芯片管脚，使信号先接滤波电容再接芯片电源引脚。且走线不要过细。

www.datasheet4u.com



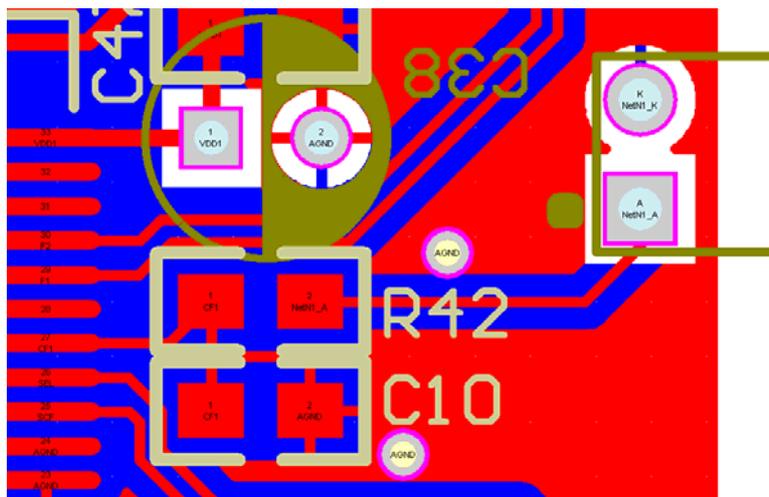
6、芯片 REFCAP 脚外接滤波电容可以提高参考电压的稳定性。

芯片第5脚 REFCAP 所接电容要尽量靠近芯片，以保证精度。



7、通常脉冲输出线的走线较长，应有去耦电容。

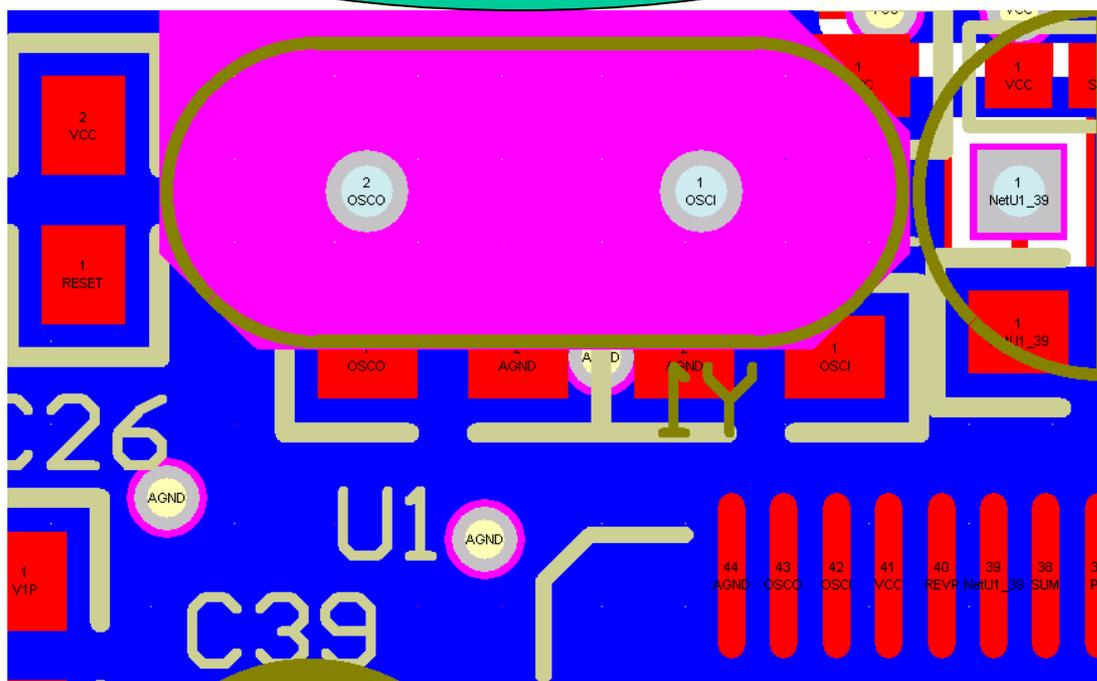
www.datasheet4u.com



芯片高频脉冲输出口加电容以吸收环路上感应的干扰信号。注意此电容尽量靠近芯片。

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。

晶体外壳要良好接地，以保证其振荡不容易受干扰，从而保证整个系统的稳定。



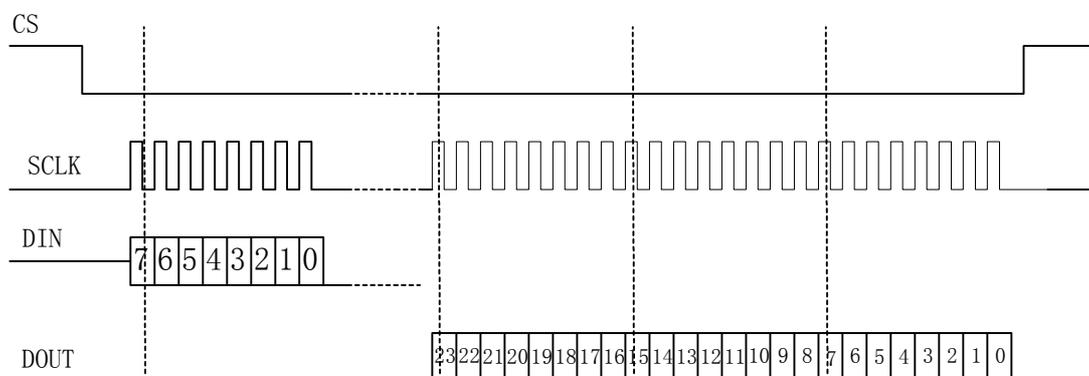
- 9、SPI 口走线尽可能短，在通讯速率允许的条件下，增加阻容滤波是防止误读、误写的措施之一。
- 10、 RESET 管脚上加 0.1uF 的去耦电容，SIG 管脚上加 10nF 的去耦电容。

### 三、软件设计

#### SPI 时序

ATT7022A 每个寄存器的 SPI 通讯的格式是相同的，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。ATT7022A 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：

```

ReadSpi (Com)
{
    ; Enable SPI
    CS=1;
    SCLK=0;
    CS=0;
    ; Send 8-bits Command to SPI
    for (n=7;n>=0;n--)
    {
        SCLK=1;
        DIN=Com. n;    单片机将数据放到 DIN 线上
        NOP ;        等待数据稳定
        SCLK=0;      CLK 的下降沿将数据写入 ATT7022A
    }
    ; waiting 3us
    delay (3);
    ; Read 24-bits Data From SPI
    for (n=23,Data=0;n>=0;n--)

```

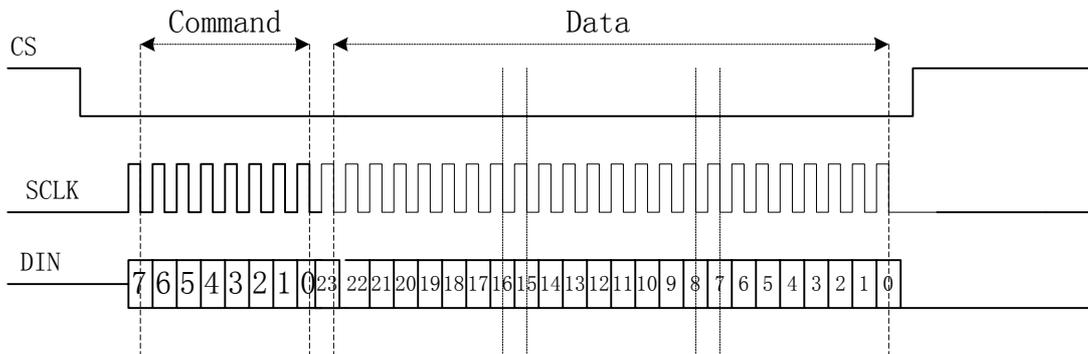
```

    {
        SCLK=1;    CLK 的上升沿 ATT7022A 将数据放到 DOUT 线上
        SCLK=0;    等待 DOUT 上数据稳定
        Data.n=DOUT;将其读入单片机中
    }
; Disable SPI
CS=1;
; Return Data From SPI
return(Data);
}

```

www.datasheet4u.com

下面是写操作时序:



SPI 写时序:

```

WriteSpi (Com, Data)
{
    ; Enable SPI
    CS=1;
    SCLK=0;
    CS=0;
    ; Send 8-bits Command to SPI
    for (n=7;n>=0;n--)
    {
        SCLK=1;
        DIN=Com. n;
        NOP
        SCLK=0;
    }
    ; Send 24-bits Data to SPI
    for (n=23, Data=0;n>=0;n--)
    {

```

```

        SCLK=1;
        DIN=Data.n;
        NOP
        SCLK=0;
    }
    ; Disable SPI
    CS=1;
}

```

## 计量参数

ATT7022A 的所有测量值都可以从计量参数寄存器中读取，每秒做三次数据更新，这些参数有：

**功率：** 包括有功功率、无功功率、视在功率，其中分各相的和合相的值。功率是有符号的量，所有的功率都有方向，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。

功率的计算，对分相参数是寄存器读数还原为原码（即对寄存器读数进行取反加 1 的操作）后除以  $2^8$ ，对合相参数是寄存器读数还原为原码后除以  $2^6$ ，计算出的值还应乘以系数  $3200/N$ （ $N$  是脉冲常数），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，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 30-1500Hz 的采样信号进行移相 90 度的处理。

**功率因数和相角：** 提供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， $\Phi = (\alpha / 2^{23}) * 2 * 180 / \pi$ ， $\Phi$  的取值在  $\pm 90^\circ$  之间。在不同的象限中，表示的角度需做如下转换：当有功功率为正时，实际角度是  $360^\circ \pm \Phi$ ；当有功功率为负时，实际角度是  $180^\circ - (\pm \Phi)$ 。

**有效值：** ATT7022A 给出了各分相的电压、电流值，以及在三相四线测量方式下，给出了三相电流向量和的有效值。有效值均以原码存放在寄存器中，读取寄存器值除以  $2^{13}$ ，即为测量值。由 ATT7022A 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。

**频率：** 由电压信号的过零点，ATT7022A 测量出电网的频率，以原码存放在寄存器中。读取寄存器值除以  $2^{13}$ ，就是频率值。

**电能：** ATT7022A 提供各种电能记录数据：读后不清零的各相及合相电能记录、读后清零的各相及合相电能记录（标有 2 的寄存器）、正向有功电能记录、反向有功电能记录、正向无功电能记录、反向无功电能记录。

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。

有功电能寄存器（0x1E 到 0x21，0x31 到 0x34）记录了正向和反向有功电能

的绝对值和, 同样无功电能寄存器 (0x22 到 0x25, 0x35 到 0x38) 记录了正向和反向无功电能的绝对值和。

合相电能 (寄存器 0x21、0x25、0x34、0x38、0x43、0x47、0x4B、0x4F、0x63、0x67、0x6B、0x6F 的值) 是根据设定的能量累加模式, 将三相电能进行绝对值求和或代数求和的计算得到。如果取绝对值求和模式累加三相电能, 则合相的反向电能值 (寄存器 0x47、0x4F、0x67、0x6F) 总为零。

从读后清零的各相及合相电能寄存器 (标有 2 的寄存器) 读数后, 其对应的未标 2 的寄存器也会在新的脉冲来到时被清零。当芯片复位时, 电能寄存器被清零。

**三相电流矢量和:** ATT7022A 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  $I_b$  输入条件下, 如  $I_b$  为 1.5A, 校正前 A 相电流寄存器的值为 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。

**电压信号夹角:** ATT7022A 提供了三相电压夹角的检测功能, 检测精度 5 度左右, 为电压电流的矢量分析提供参考。读取寄存器值 (地址为 5C、5D、5E) 除以  $2^{13}$ , 即为测量值。使用该功能时需要先使其控制寄存器, 即将校表寄存器 0x2E 赋值 0x003584。

**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。注意电流相序的测量需要先使其控制器, 即将校表寄存器 0x30 赋值 0x005678。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:** ATT7022A 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。

**电压通道增益选择:** 在使用电流互感器做电压信号采样的情况下, 或者在做小信号测量中, 考虑到采样通道的交越干扰, 电压采样信号取在 0.2V 以下, ATT7022A 提供了电压通道 ADC 增益选择寄存器, 将 0.2V 以下的电压采样信号放大到 0.2 到 0.6V 之间, 从而获得良好的线性特性。

**小信号下脉冲常数加倍:** 为了缩短小信号校表时间, 可以采用此功能。需要注意的是此功能只能用在小信号段, 校表完成后, 一定要关闭此功能。

**读、写校验寄存器:** ATT7022A 提供了读校验寄存器 0x28 和写校验寄存器 0x2D、0x2E, 可以有效防止 SPI 通讯过程出现的错误。ATT7022A 接受到一条读指令时, 从相应的寄存器取出数据, 存入读校验寄存器, 并通过 SPI 的 DOUT 线送出, 单片机再读一次读校验寄存器的内容, 比较两次读出的数据, 可以判断 SPI 读过程是否正常。同样 ATT7022A 接受一条写指令时, 将接受到的数据存入 ATT7022A 的相应寄存器, 同时将数据送入写校验寄存器, 单片机读出写校验寄存器的内容, 可得知写数据是否正确。

校验和寄存器：ATT7022A 提供了校表寄存器的校验和寄存器 0x3E、0x5F，每秒更新三次，对所有校表寄存器的数据做校验和，该校验和由单片机读出，与单片机内部保存的校验和比较，可以判断 ATT7022A 的校表寄存器的数据是否正确。当发现校验和错误时，单片机应对 ATT7022A 进行复位操作，并送校表数据。

www.datasheet4u.com 使用好读、写校验寄存器，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。

## 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，功率增益补偿建议不要分段。在做相位校正时，根据精度要求，可以考虑分段或不分段进行。分段是按电流的大小来分，对相位校正，最多可分五段进行。

ATT7022A 的起动电流与断相阈值电压可用软件设置。

ATT7022A 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。

### 设置电压通道 ADC 增益 UADCPga

通过填写电压通道 ADC 增益 UADCPga (0x3F) 设置电压通道 ADC 放大倍数，建议保证电压额定  $U_n$  时的取样信号  $V_u$  的电压为 0.1V，放大倍数 UADCPgain 等于 4。

### 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。

Hfreq=

$$\text{INT} \left[ 5760000000 \times \frac{G \times G \times V_u \times V_i}{U_n \times I_b \times N} \right]$$

式中： $U_n$  为参比电压， $I_b$  为额定电流， $N$  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， $V_i$  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， $G$  是常数 0.648，Hfreq 为高频输出常数。

将 Hfreq 值写入校表寄存器 20H，芯片就按设计的脉冲常数发出 CF 信号。注意该参数的最高位不能为 1，同时取值不应小于 0x000004，同时不应大于 0x000D00。

### 设置比差补偿区域

按照前面推荐的电流电压采样参数，ATT7022 具有 1000:1 的线性范围，能够满足大多数电表实用要求，功率增益校正不需要分段，可以简化生产的校表过程，此时比差补偿区域寄存器（0x1E）不需设置，保持为零（即复位时的默认值）。

功率增益需要做分段补偿时，根据电流的大小设置分段点，大电流段的功率增益校准值写入功率增益 0，小电流段的功率增益校准值写入功率增益 1。注意对小电流段的信号，ATT7022 内部将采样信号放大，为避免信号失真，所以选取分段点的电流所对应的信号输入电压值应确保小于 35 毫伏。

计算公式： $I_{regchg} = \text{INT} (G \cdot I_g \cdot 2^{23})$

式中 G 是常数 0.648, Ig 是分段点的采样电压, Ib 的采样值为 0.1V, 如分段点设在 5%Ib, 对应的采样电压为  $0.1 \times 5\% = 0.005$ , 这时  $I_{regch} = \text{INT}(0.648 \times 0.005 \times 2^{23}) = 0x6A2B$

### 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 0x02、0x03、0x04、0x05 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, 从相位补偿区域设置 4 开始设置, 电流最小分段点写入相位补偿区域设置 4, 电流最大的分段点写入相位补偿区域设置 1。如果分段点不足 4 个, 应从相位补偿区域设置 4 开始依次设置, 其余的设置点参数保持为零。比如相位补偿区域要分两段进行, 分段点设在 15%Ib 处, 即  $I_{s4} = 15\%V_i = 0.15 \times 0.1 = 0.015V$ ,  $I_{region4} = \text{INT}(G \times I_{s4} \times 2^{23}) = 0x013E81$ , 只要将 0x013E81 写入相位补偿区域设置 4 (地址 0x05) 即可, 其余相位补偿区域设置寄存器的数值为零。

### 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。根据设置的比差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。如分段点设在 5%Ib, 可选择在 Ib 点做功率增益 0 的校正, 在 2%Ib 点做功率增益 1 的校正。如果不分段, 建议将功率增益 0 和功率增益 1 寄存器值写同样的校正值。

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

如果  $P_{\text{gain}} \geq 0$ ,  $P_{\text{gain}} = \text{INT}(P_{\text{gain}} \times 2^{23})$

$P_{\text{gain}} < 0$ ,  $P_{\text{gain}} = \text{INT}(2^{24} + P_{\text{gain}} \times 2^{23})$

注意计算公式中的电能误差 err 为不含%号的误差。

### 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, 建议将区域 0 至区域 4 相位校正寄存器值写同样的校正值。

$$\text{校正公式: } \theta = \arccos((1+err) \times 0.5) - \pi/3$$

如果  $\theta \geq 0$ ,  $\text{Phsreg} = \text{INT}(\theta \times 2^{23})$

$\theta < 0$ ,  $\text{Phsreg} = \text{INT}(2^{24} + \theta \times 2^{23})$

相位校正公式中计算单位为弧度。

### 设置启动电流

复位后启动电流寄存器的默认值为 0x280, 对应的启动电流为 0.1%Ib (Ib 输入时, 采样输入为 0.1V), 即当读到未做电流校正前的电流寄存器的值大于或等于 0x280 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  $0x280 \times 0.8$  时, 电表处于启动状态, 不输出电能脉冲。功率增益不做分段时, 启动电流的设置可按以下计算公式:

$$I_{\text{start}} = \text{INT}(G \times I_o \times 2^{23})$$

式中: G 为 0.648, Io 是启动电流输入时, 芯片端口的采样电压, 例如启动电流为 0.4%Ib, Ib 输入时采样电压为 0.1V, 则  $I_o = 0.1 \times 0.4 / 100 = 0.0004V$ 。

功率增益做分段时, 可按以上公式计算的结果乘上系数 0.8, 得到启动电流的设置值。

启动电流的设置与  $I_b$  输入时采样电压的大小、与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。在计量参数寄存器 0x2C 中，bit9、bit10、bit11 给出了 A、B、C 各相启动/潜动状态标志。

#### 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

与电压校正相似，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。

#### 设置断相阈值

在电压校正完成之后进行断相阈值的设置。

## 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 ATT7022A，检测到 SIG 为低时送校表数据，这步可省略。

(2) 填写电压通道 ADC 增益 UADCPga (0x3F) 设置电压通道 ADC 放大倍数。

(3) 写高频脉冲输出参数到校表寄存器 20H(命令 0A0H)。

(4) 写启动电流到校表寄存器 1FH(命令 9FH)，若不做此步，默认的启动电流值为基本电流的 0.1%。

(5) 写比差补偿区域设置到校表寄存器 1EH(命令 9EH)，若不做此步，表示不分段进行增益校准，此时功率增益校正值默认取功率增益 0 寄存器的值。若写了比差补偿区域设置寄存器，则高于分段点电流的功率增益校正值写入功率增益 0 寄存器，低于分段点电流的功率增益校正值写入功率增益 1 寄存器。

(6) 写相位补偿区域设置到校表寄存器 02H、03H、04H、05H (命令 82H、83H、84H、85H)，若不做此步，表示不分段进行相位校准，此时相位校正值默认取区域 0 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，从相位补偿区域设置 4 开始设置，电流最小分段点写入相位补偿区域设置 4），则低于相位补偿区域设置 4 分段点电流的相位校正值写入区域 4 相位校正寄存器；低于相位补偿区域设置 3 分段点电流的相位校正值写入区域 3 相位校正寄存器；依次类推，最后高于相位补偿区域设置 1 分段点电流的相位校正值写入区域 0 相位校正寄存器。

(7) 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，写功率增益值到到校表寄存器 06H、07H、08H (命令 86H、87H、88H)。若不分段做增益校准，则将功率增益值同时写到校表寄存器 09H、0AH、0BH 中 (命令 89H、8AH、8BH)。若分段做增益校准，则电表在输入三相电压，分别给 A、B、C 相输入比差分点以下并远离分段点的电流，功率因数为 1 的条件下，根据测得的各相电能误差值，写功率增益值到到校表寄存器 09H、0AH、0BH (命令 89H、8AH、8BH)。

(8) 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，写相位校正值到到校表寄存器 0CH、11H、16H。若不分段做相位校准，则将相位校正值同时写到校表寄存器 0DH、0EH、0FH、10H、12H、13H、14H、15H、17H、18H、19H、1AH 中。若分段做相位校准，则电表在输入三相电压，根据相位补偿区域的划分，分别给 A、B、C 相输入补偿区域中点的电流，功率因数为 0.5L 的条件下，根据测得的各相电能误差值，写相位校正值到校表寄存器 10H、15H、1AH 等等。

- (9)输入参考电压，根据电压显示值，分别写校正值到校表寄存器 1BH、1CH、1DH 中。  
 (10)输入基本电流，根据电流显示值，分别写校正值到校表寄存器 26H、27H、28H 中。  
 (11)写断相阈值电压到校表寄存器 29H(命令 0A9H)，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)。

www.datasheet4u.com

**注意：\*每写一个校表寄存器，CS 须操作一次。**

**\*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 N 为 3200imp/kWh，额定电流输入时，电流通道的输入电压  $V_i$  为 0.1V，参比电压输入时，电压通道的输入电压  $V_u$  为 0.1V。

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寄存器的首地址，R3 寄存器放写或读寄存器的字节数。WR\_SPI 为写 ATT7022A 的子程序，RE\_SPI 为读 ATT7022A 的子程序。

(1)复位 ATT7022A

RESET7022A:

```
CLR ATT7022_RST
MOV R7, #20H ; 延时大于 20uS
```

DELAY1: NOP

```
DJNZ R7, DELAY1
SETB ATT7022_RST
MOV R7, #0FFH ; 延时大于 500uS
```

DELAY2: NOP

```
NOP
DJNZ R7, DELAY2
RET
```

(2)填写电压通道 ADC 增益 UADCPga (0x3F) 设置电压通道 ADC 放大倍数为 4:

```
MOV 20H, #46H
MOV 21H, #55H
MOV 22H, #01H
MOV A, #0BFH
LCALL WR_SPI
```

(3)写 HFConst:

Hfreq=

$$INT \left[ 5760000000 \times \frac{G \times G \times V_u \times V_i}{U_n \times I_b \times N} \right]$$

$$= 5760000000 \times 0.648 \times 0.648 \times 0.5 \times 0.1 / (220 \times 1.5 \times 3200)$$

$$= 114 = 72H$$

```
MOV 20H, #00H
```

```

MOV 21H, #00H
MOV 22H, #72H
MOV A, #0A0H
LCALL WR_SPI

```

www.datasheet4u.com

(4)写起动电流:

$$I_o = 0.4\% * V_i = 0.004 * 0.1 = 0.0004$$

$$I_{startup} = G * I_o = 0.648 * 0.0004 = 0.0002592$$

$$I_{startup} * 2^{23} = 0.0002592 * 2^{23} = 2174 = 87EH$$

```

MOV 20H, #00H
MOV 21H, #08H
MOV 22H, #7EH
MOV A, #9FH
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  $err = -0.0074$ , 则:

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

$$Pgain * 2^{23} = 0.00745516 * 2^{23} = 62538 = 0F44AH$$

```

MOV 20H, #00H
MOV 21H, #0F4H
MOV 22H, #4AH
MOV A, #86H
LCALL WR_SPI
MOV A, #89H
LCALL WR_SPI

```

; 不分段, 将各段的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 1.74%,  $err = 0.0174$ , 则:

$$\theta = \arccos((1+err) * 0.5) - \pi / 3$$

$$= \arccos((1+0.0174) * 0.5) - \pi / 3$$

$$= \arccos(0.5087) - \pi / 3 = -0.01007537 < 0$$

$$P_{hsreg} = 2^{24} + \theta * 2^{23} = 16692697 = FEB5D9H$$

```

MOV 20H, #0FEH
MOV 21H, #0B5H

```

```

MOV 22H, #0D9H
MOV A, #8CH
LCALL WR_SPI
MOV A, #8DH ; 不分段, 将各段的寄存器写同样的校正值
LCALL WR_SPI
MOV A, #8EH
LCALL WR_SPI
MOV A, #8FH
LCALL WR_SPI
MOV A, #90H
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:

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

$$Pgain = 2^{24} + Pgain * 2^{23} \\ = 2^{24} - 0.01244322 * 2^{23} = 16672834 = FE6842H$$

```

MOV 20H, #0FEH
MOV 21H, #68H
MOV 22H, #42H
MOV A, #87H
LCALL WR_SPI
MOV A, #8AH ; 不分段, 将各段的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 -1.74%,  $err=-0.0174$ , 则:

$$\theta = \arccos((1+err)*0.5) - \pi/3 \\ = \arccos((1-0.0174)*0.5) - \pi/3 \\ = \arccos(0.4913) - \pi/3 = 0.01001709 > 0$$

$$Phsreg = \theta * 2^{23} = 84029 = 1483DH$$

```

MOV 20H, #01H
MOV 21H, #48H
MOV 22H, #3DH
MOV A, #91H
LCALL WR_SPI
MOV A, #92H ; 不分段, 将各段的寄存器写同样的校正值

```

```

LCALL WR_SPI
MOV A, #93H
LCALL WR_SPI
MOV A, #94H
LCALL WR_SPI
MOV A, #95H
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：

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

$$Pgain = 2^{24} + Pgain * 2^{23} = 2^{24} - 0.00497512 * 2^{23} = 16735481 = FF5CF9H$$

```

MOV 20H, #0FFH
MOV 21H, #5CH
MOV 22H, #0F9H
MOV A, #88H
LCALL WR_SPI
MOV A, #8BH
LCALL WR_SPI

```

；不分段，将各段的寄存器写同样的校正值

## (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 -1.74%，err=-0.0174，则：

$$\begin{aligned} \theta &= \arccos((1+err)*0.5) - \pi/3 \\ &= \arccos((1-0.0174)*0.5) - \pi/3 \\ &= \arccos(0.4913) - \pi/3 = 0.01001709 > 0 \end{aligned}$$

$$Phsreg = \theta * 2^{23} = 84029 = 1483DH$$

```

MOV 20H, #01H
MOV 21H, #48H
MOV 22H, #3DH
MOV A, #96H
LCALL WR_SPI
MOV A, #97H
LCALL WR_SPI
MOV A, #98H
LCALL WR_SPI
MOV A, #99H

```

；不分段，将各段的寄存器写同样的校正值

```
LCALL WR_SPI
MOV A, #9AH
LCALL WR_SPI
```

:

www.datasheet4u.com

(1)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, 电压寄存器的值分别为 0x2A8000=2785280, 0x2AE305=2810629, 0x2B00F1=2818289, 经有效值计算:

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

电能表上的电压读数分别为 340V、343.09V、344.03V, 电压校正值为:

$$U_{gain} = U_r / U_{rms} - 1 \quad \text{其中 } U_r \text{ 为标准表的电压读数}$$

A 相电压校正值  $U_{gain} = 220/340 - 1 = -0.352941 < 0$

$$U_{gain} = \text{INT}(2^{24} + U_{gain} * 2^{23}) = 0xD2D2D4$$

```
MOV 20H, #0D2H
MOV 21H, #0D2H
MOV 22H, #0D4H
MOV A, #9BH
LCALL WR_SPI
```

B 相电压校正值  $U_{gain} = 220/343.09 - 1 = -0.358769 < 0$

$$U_{gain} = \text{INT}(2^{24} + U_{gain} * 2^{23}) = 0xD213DB$$

```
MOV 20H, #0D2H
MOV 21H, #13H
MOV 22H, #0DBH
MOV A, #9CH
LCALL WR_SPI
```

C 相电压校正值  $U_{gain} = 220/344.03 - 1 = -0.360520$

$$U_{gain} = \text{INT}(2^{24} + U_{gain} * 2^{23}) = 0xD1DA7B$$

```
MOV 20H, #0D1H
MOV 21H, #0DAH
MOV 22H, #7BH
MOV A, #9DH
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, 读电流寄存器的值分别为 0x7C000=507904, 0x75CCC=482508, 0x78000=491520, 经有效值计算:

$$I_{rms} = I_i * 2^{10} / 2^{23} = I_i / 2^{13}$$

电能表上的电压读数分别为 62A, 58.9A, 60A, 电流校正值为

$$I_{gain} = I_r / I_{rms} - 1 \quad \text{其中 } I_r \text{ 为标准表的电流读数}$$

A 相电流校正值  $I_{gain} = 1.5/62 - 1 = -0.975806 < 0$

$I_{gain} = \text{INT}(2^{24} + U_{gain} * 2^{23}) = 0x8318C9$

MOV 20H, #83H  
MOV 21H, #18H  
MOV 22H, #0C9H  
MOV A, #0A6H  
LCALL WR\_SPI

www.datasheet4u.com

B 相电流校正值  $I_{gain} = 1.5/58.9 - 1 = -0.974533$

$I_{gain} = \text{INT}(2^{24} + U_{gain} * 2^{23}) = 0x834280$

MOV 20H, #83H  
MOV 21H, #42H  
MOV 22H, #80H  
MOV A, #0A7H  
LCALL WR\_SPI

C 相电流校正值  $I_{gain} = 1.5/60 - 1 = -0.975$

$I_{gain} = \text{INT}(2^{24} + U_{gain} * 2^{23}) = 0x833333$

MOV 20H, #83H  
MOV 21H, #33H  
MOV 22H, #33H  
MOV A, #0A8H  
LCALL WR\_SPI

子程序:

```
WR_SPI:                                ; 对 ATT7022A 进行写操作子程序
MOV R0, #20H
MOV R3, #03H
SETB SPI_CS
CLR SPI_CK
CLR SPI_CS                            ; SPI 通讯开始
ACALL OTB                             ; 送写地址
WR_SPI1:MOV A, @R0                    ; 送写数据
INC R0
ACALL OTB
DJNZ R3, WR_SPI1
SETB SPI_CS                            ; SPI 通讯结束
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 30H、31H、32H 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           ; SPI 通讯开始
        ACALL OTB           ; 送读地址
        SETB SPI_DO

RE_SPI1: MOV A, #00H
        ACALL INB           ; 读数据
        MOV @R0, A
        INC R0
        DJNZ R3, RE_SPI1
        SETB SPI_CS       ; SPI 通讯结束
        RET

OTB:    MOV R2, #08H       ; SPI 送数据子程序
OTB1:   SETB SPI_CK
        RLC A
        MOV SPI_DI, C     ; 将发送数据放到 ATT7022A 的 DIN 上
        NOP               ; 等待数据稳定
        NOP
        NOP
        CLR SPI_CK       ; 下降沿数据送出去
        DJNZ R2, OTB1
        RET

INB:    MOV R2, #08H       ; SPI 读数据子程序
INB1:   SETB SPI_CK       ; ATT7022A 在上升沿将数据放到 DOUT 线上
        NOP               ;
        NOP
        NOP
        CLR SPI_CK
        NOP
        NOP
        NOP
        NOP               ; 等待数据稳定
        MOV C, SPI_DO    ;
        RLC A             ; 将数据存入寄存器
        DJNZ R2, INB1
        RET

```