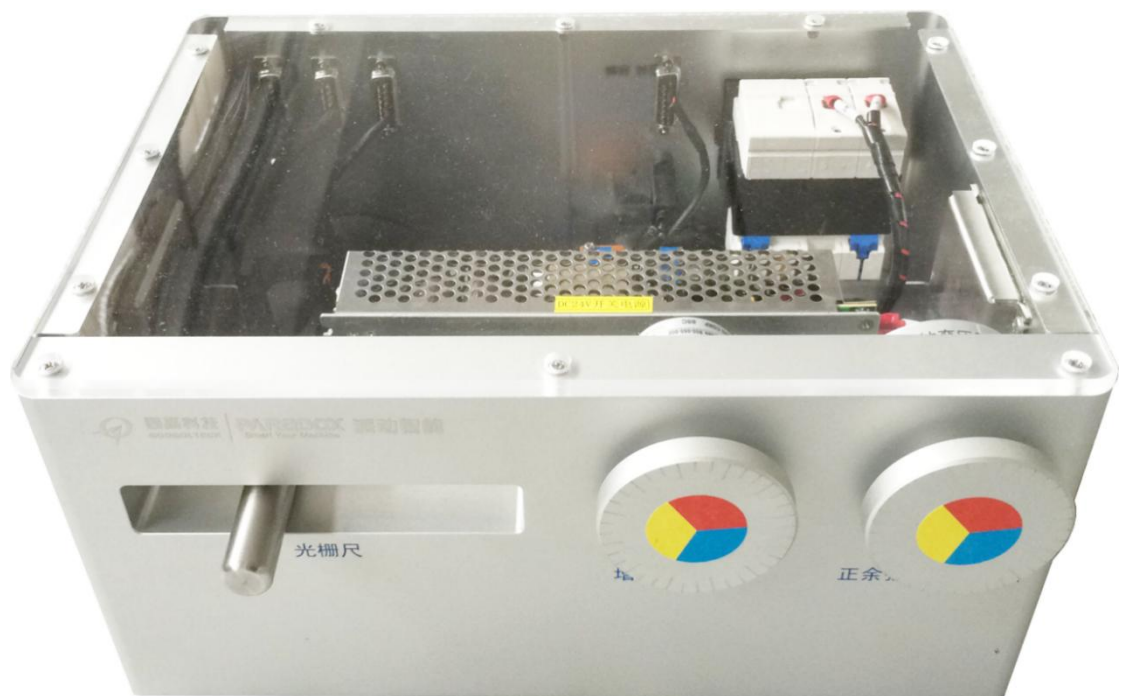


传感与测量反馈元件特性实验



哈尔滨工业大学（深圳）
实验与创新实践教育中心

目录

1. 实验目的	2
2. 实验原理	2
(1) 旋转变压器	2
(2) 增量式编码器	4
① 信号检测原理	4
② 程序设计	6
(3) 增量式光栅尺	8
① 信号检测原理	8
② 程序设计	10
③ 中值滤波	11
3. 实验步骤	13
(1) 旋转变压器信号检测	13
(2) 增量式编码器信号检测	18
(3) 增量式光栅尺信号检测	22
4. 实验分析	27
注意事项	27
附录 1 系统硬件介绍	28
附录 2 实验设计参考	38
附录 A 上位机实时内核设置	39

1. 实验目的

- (1) 了解旋转变压器结构，掌握其输出特性；
- (2) 了解增量式光电编码器结构以及输出特性；
- (3) 熟悉光栅尺的结构以及输出特性，了解信号滤波原理及作用。

2. 实验原理

(1) 旋转变压器

旋转变压器是自动控制装置中的一类精密控制微电机。从物理本质看，可以认为是一种可以旋转的变压器，这种变压器的原、副边绕组分别放置在定子和转子上。

当旋转变压器的原边施加交流电压励磁时，其副边输出电压将与转子的转角保持某种严格的函数关系，从而实现角度的检测、解算及传输等功能。

旋转变压器的基本结构如图 2-1-1 所示：

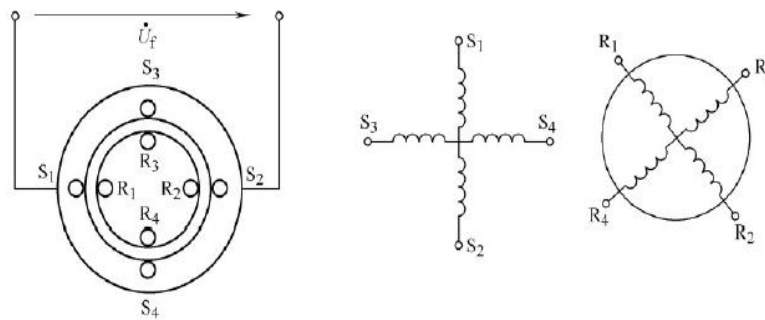


图 2-1-1 旋转变压器结构

S1-S2 定子励磁绕组，S3-S4 定子交轴绕组，

R1-R2 转子余弦输出绕组，R3-R4 转子正弦输出绕组。

多摩川 TS2620N21E11 系列正余弦旋转变压器结构如图 2-1-2 所示：

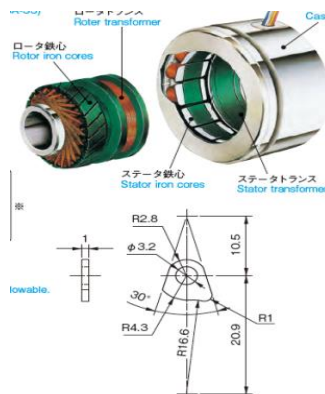


图 2-1-2 多摩川 TS2620N21E11 系列正余弦旋转变压器结构剖析图

本实验箱采样的是空载运行的方式，输出绕组 R1-R2 和 R3-R4 以及定子交轴绕组 S3-S4 开路，在励磁绕组 S1-S2 施加交流励磁电压此时气隙中将产生一个脉振磁场 B_f ，该脉振磁场的轴线在定子励磁绕组 S1-S2 的轴线上，如图 2-1-3 所示：

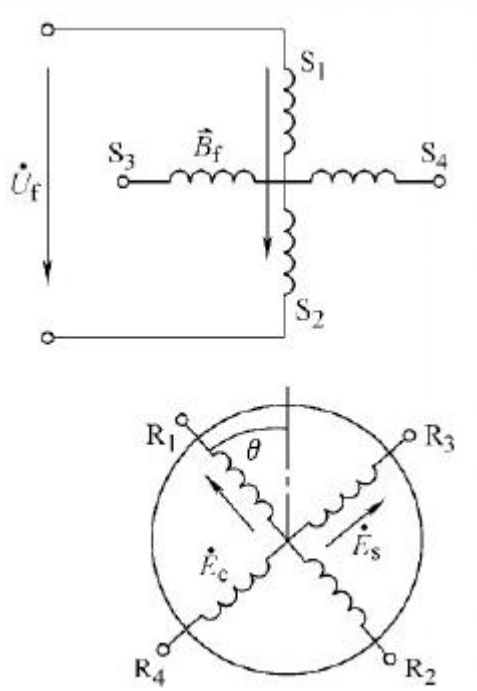


图 2-1-3 正余弦旋转变压器原理图

设 S1-S2 轴线与 R1-R2 轴线的夹角为 e ，励磁磁通在励磁绕组 S1-S2、正弦绕组 R3-R4 和余弦 R1-R2 中感应电势分别为：

$$E_f = 4.44 f N_1 k_{w1} \phi_m$$

$$E_c = 4.44 f N_2 k_{w2} \phi \cos \theta$$

$$E_s = 4.44 f N_2 k_{w2} \phi \cos(90^\circ - \theta) = 4.44 f N_2 k_{w2} k_{w2} \phi_m \sin \theta$$

$N_1 k_{w1}$ 为定子绕组的有效匝数

$N_2 k_{w2}$ 为转子绕组的有效匝数

$$K_u = \frac{N_2 k_{w2}}{N_1 k_{w1}} \text{ 旋转变压器的变比:}$$

$$\begin{cases} E_s = K_u E_f \sin \theta \\ E_c = K_u E_f \cos \theta \end{cases}$$

忽略励磁绕组的电阻和漏抗，则 $E_f = U_f$ 。

$$\begin{cases} E_s = K_u U_f \sin \theta \\ E_c = K_u U_f \cos \theta \end{cases}$$

输出电动势与转子转角有严格的正、余弦关系如图 2-1-4 所示：

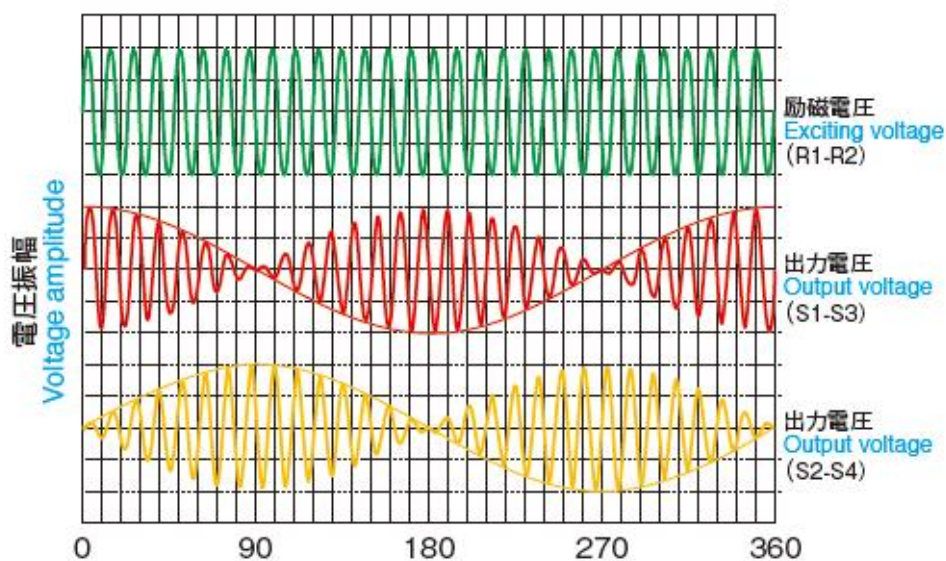


图 2-1-4 励磁侧与出力侧的波形关系图

(2) 增量式编码器

① 信号检测原理

增量式光电编码器的特点是每产生一个输出脉冲信号就对应于一个增量位移，但是不能通过输出脉冲区别出在哪个位置上的增量。它能够产生与位移增量等值的脉冲信号，其作用是提供一种对连续位移量离散化或增量化以及位移变化（速度）的传感方法，它是相对于某个基准点的相对位置增量，不能够直接检测出轴的绝对位置信息。一般来说，增量式光电编码器输出 A、B 两相互差 90° 电度角的脉冲信号（即所谓的两组正交输出信号），从而可方便地判断出旋转方向。

同时还有用作参考零位的 Z 相标志（指示）脉冲信号，码盘每旋转一周，只发出一个标志信号。标志脉冲通常用来指示机械位置或对积累量清零。增量式光电编码器主要由光源、码盘、检测光栅、光电检测器件和转换电路组成，如图 2-2-1 所示。码盘上刻有节距相等的辐射状透光缝隙，相邻两个透光缝隙之间代表一个增量周期；检测光栅上刻有 A、B 两组与码盘相对应的透光缝隙，用以通过或阻挡光源和光电检测器件之间的光线。它们的节距和码盘上的节距相等，并且两组透光缝隙错开 $1/4$ 节距，使得光电检测器件输出的信号在相位上相差 90° 电度角。当码盘随着被测转轴转动时，检测光栅不动，光线透过码盘和检测光栅上的透过缝隙照射到光电检测器件上，光电检测器件就输出两组相位相差 90° 电度角的近似于正弦波的电信号，电信号经过转换电路的信号处理，可以得到被测轴的转角或速度信息。增量式光电编码器输出信号波形如图 2-2-2，2-2-3 所示。

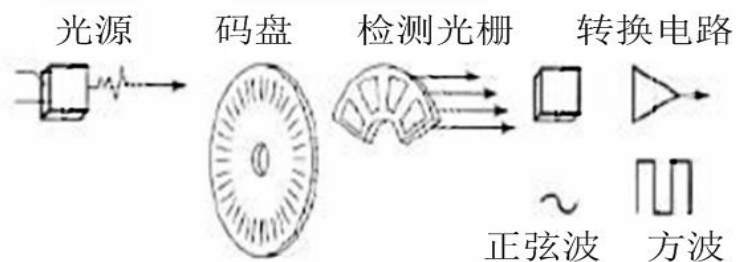


图 2-2-1 增量式光电编码器结构分解图

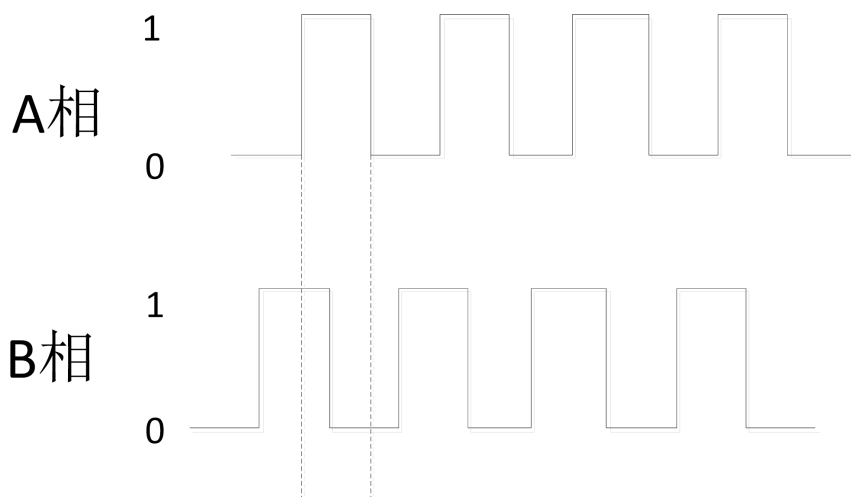


图 2-2-2 增量式光电编码器正转波形

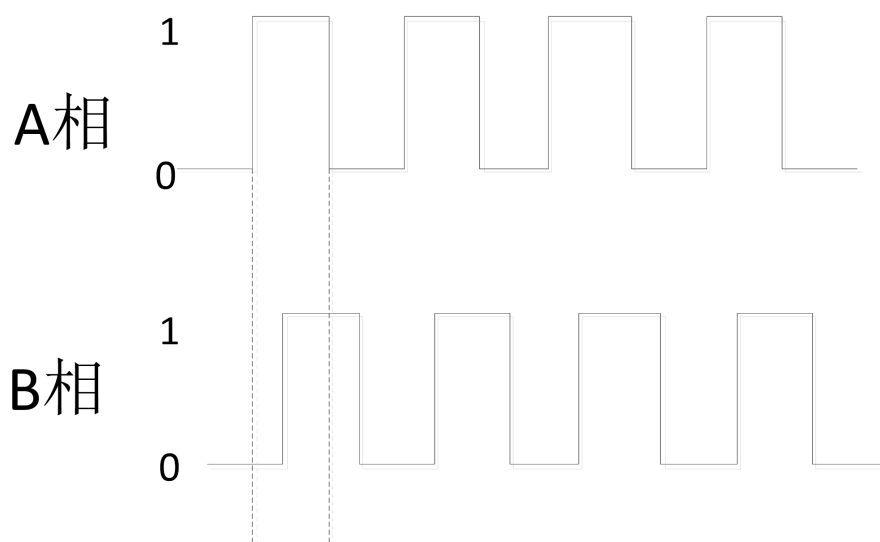


图 2-2-3 增量式光电编码器反转波形

假设图 2-2-2 为增量式编码器正转时输出的 A、B 相脉冲信号，图 2-2-3 为增量式编码器反转时输出的 A、B 相脉冲信号。由此可见，当编码器在正转时，A 相信号的上升沿对应 B 相信号的高电平，A 相信号的下降沿对应 B 相信号的低电平。此时 A 相信号无论是上升沿还是下降沿都产生了一个脉冲，在进行脉冲计数时都

必须计算进去。在记录时需要考虑编码器是在正转还是反转，若正转，则加上脉冲；若反转，则减去脉冲。

在进行程序设计时，首先需要判断编码器是在正转还是在反转，接着需要找出 A、B 相的上升沿和下降沿，最后处理数据。编码器正转，A、B 相在处于上升沿或下降沿时都应加上脉冲；编码器反转，A、B 相在处于上升沿或下降沿时都应减去脉冲；A、B 相重合时，同时加上脉冲或减去脉冲。

② 程序设计

程序设计思想：首先采集 A、B 相的原始电压信号，经过 DSP 模块处理之后，发送给上位机 Matlab 软件，使用上位机程序进行脉冲计数。

Paradox collect qep -- Hardware Test Control

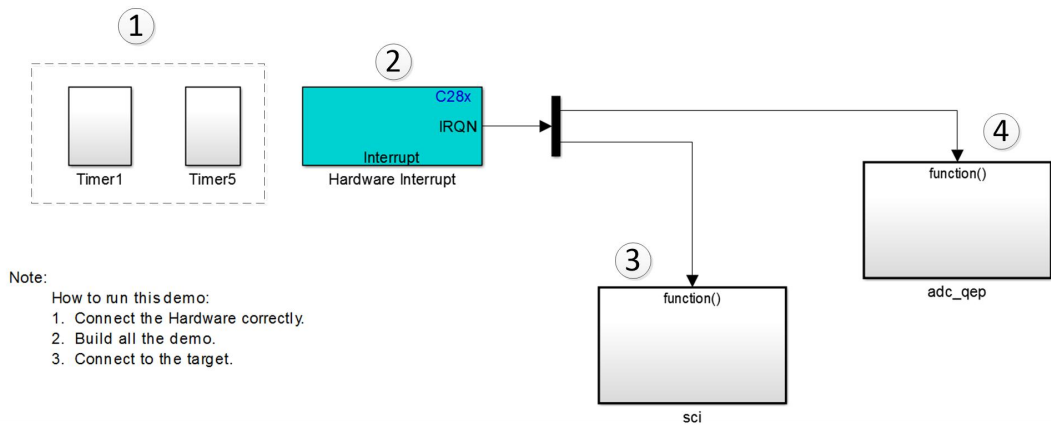


图 2-2-4 下位机程序示意图



图 2-2-5 程序流程框图

模块①定时模块，给③，④号模块进行定时，分别是定时采集 ADC 信号的时间和下位机向上位机发送数据的时间。



模块②创建将执行的下游子系统的中断服务程序。用来协调③，④号模块的触发优先级。

模块③向上位机传输处理过后的 AB 相脉冲数据。

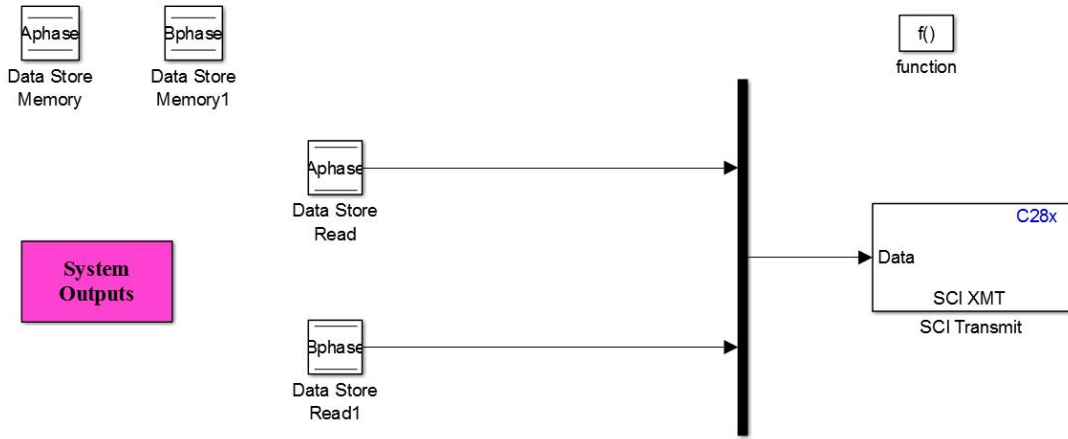


图 2-2-6 传输数据程序示意图

模块④采集 AB 相 ADC 信号模块。

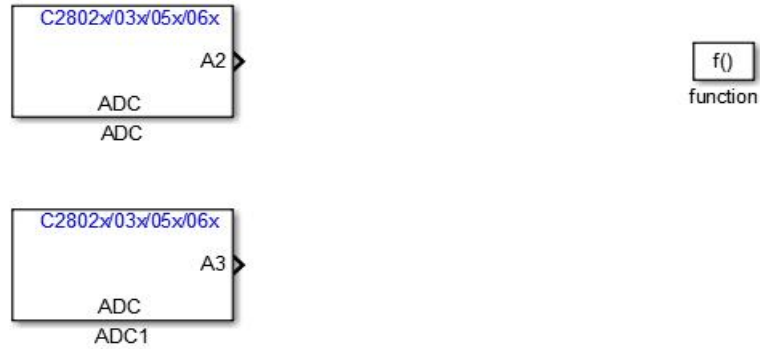


图 2-2-7 采集 ADC 信号程序示意图

Paradox collector qep -- PC software

- How to run this demo:
1. Connect the Hardware co
 2. Build all the demo.
 3. Start real-time code

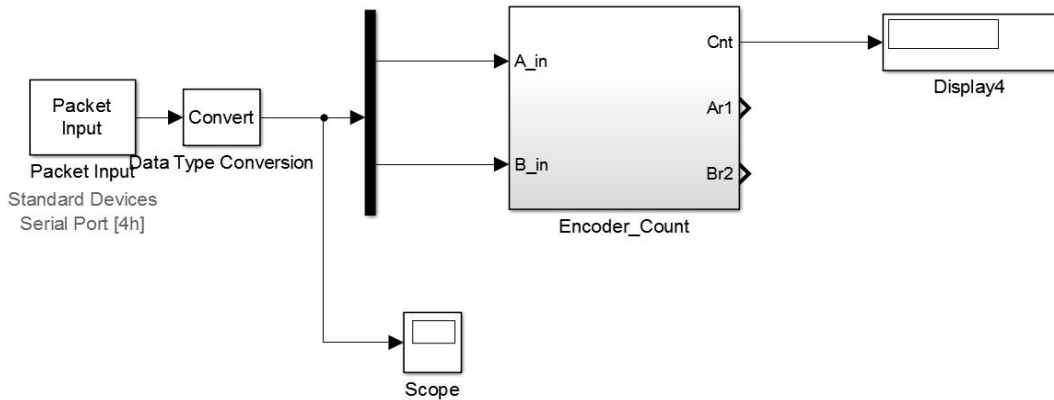


图 2-2-8 上位机程序示意图

如图 2-2-9 所示为 Matlab 上位机的计数脉冲程序。其中 Encoder_Count 为脉冲计数程序块。

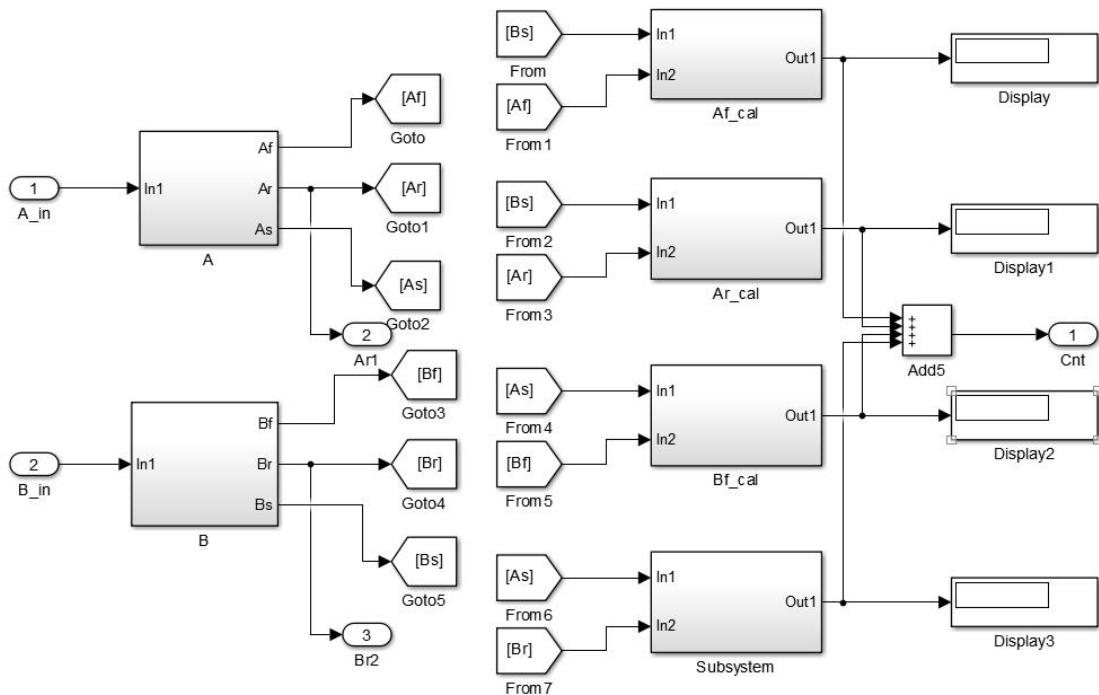


图 2-2-9 脉冲计数模块

在图 2-2-9 中，A、B 模块分别是用来判断当前 AB 相信号的上升沿和下降沿及对应的方向。其中，Af 为 A 相上升沿，Ar 为 A 相下降沿，As 为 A 当前时刻 A 相的电平值，即高电平或者低电平。Af_cal，Ar_cal，Bf_cal，Br_cal 四个模块分别用来计算当前时刻下，当编码器正反转时的脉冲个数，累加起来就等于整个行程中形成的脉冲个数。

(3) 增量式光栅尺

① 信号检测原理

光栅尺，是利用光栅的光学原理工作的测量反馈装置。光栅尺经常应用于数控机床的闭环伺服系统中，可用作直线位移或者角位移的检测。其测量输出的信号为数字脉冲，具有检测范围大，检测精度高，响应速度快的特点。

光栅位移传感器的工作原理，是由一对光栅副中的主光栅（即标尺光栅）和副光栅（即指示光栅）进行相对位移时，在光的干涉与衍射共同作用下产生黑白相间（或明暗相间）的规则条纹图形，称之为莫尔条纹。经过光电器件转换使黑白（或明暗）相同的条纹转换成正弦波变化的电信号，再经过放大器放大，整形电路整形后，得到两路相差为 90°的正弦波或方波，送入光栅数显表计数显示。

常见光栅的工作原理都是根据物理上莫尔条纹的形成原理进行工作的，如图 2-3-1 所示。当使指示光栅上的线纹与标尺光栅上的线纹成一角度来放置两光栅尺时，必然会造成两光栅尺上的线纹互相交叉。在光源的照射下，交叉点近旁的小区域内由于黑色线纹重叠，因而遮光面积最小，挡光效应最弱，光的累积作用使

得这个区域出现亮带。相反，距交叉点较远的区域，因两光栅尺不透明的黑色线纹的重叠部分变得越来越少，不透明区域面积逐渐变大，即遮光面积逐渐变大，使得挡光效应变强，只有较少的光线能通过这个区域透过光栅，使这个区域出现暗带。这些与光栅线纹几乎垂直，相间出现的亮、暗带就是莫尔条纹。莫尔条纹具有以下性质：

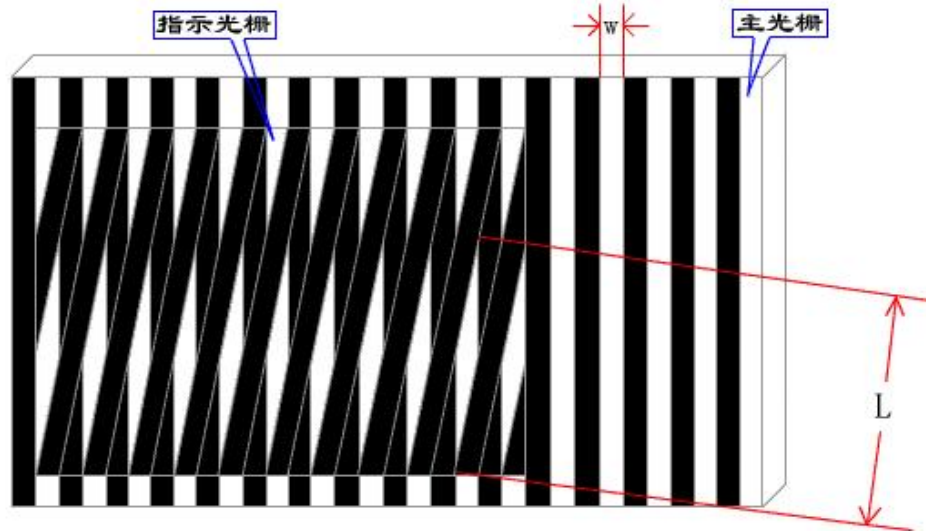


图 2-3-1 直线光栅莫尔条纹

1. 当用平行光束照射光栅时，透过莫尔条纹的光强度分布近似于余弦函数；
2. 若用 W 表示莫尔条纹的宽度， d 表示光栅的栅距， θ 表示两光栅尺线纹的

夹角，则它们之间的几何关系为 $W = \frac{d}{\sin \theta}$ ，当角度很小时，上式可近似写 $W = \frac{d}{\theta}$ 。若 $d = 0.01\text{mm}$ ， $\theta = 0.01\text{rad}$ ，则由上式可得 $W = 1\text{mm}$ 。这说明，无需复杂的光学系统和电子系统，利用光的干涉现象，就能把光栅的栅距转换成放大 100 倍的莫尔条纹的宽度。这种放大作用是光栅的一个重要特点；

3. 由于莫尔条纹是由若干条光栅线纹共同干涉形成的，所以莫尔条纹对光栅个别线纹之间的栅距误差具有平均效应，能消除光栅栅距不均匀所造成的影响；

4. 莫尔条纹的移动与两光栅尺之间的相对移动相对应。两光栅尺相对移动一个栅距 d ，莫尔条纹便相应移动一个莫尔条纹宽度 W ，其方向与两光栅尺相对移动的方向垂直，且当两光栅尺相对移动的方向改变时，莫尔条纹移动的方向也随之改变。

根据上述莫尔条纹的特性，假如我们在莫尔条纹移动的方向上开 4 个观察窗口 A, B, C, D，且使这 4 个窗口两两相距 $\frac{1}{4}$ 莫尔条纹宽度，即 $\frac{W}{4}$ 。由上述讨论可知，当两光栅尺相对移动时，莫尔条纹随之移动，从 4 个观察窗口 A、B、C、D 可以得到 4 个在相位上依次超前或滞后(取决于两光栅尺相对移动的方向)1/4 周期(即 90°)的近似于余弦函数的光强度变化过程，如图 2-3-2 所示。

若采用光敏元件来检测，光敏元件把透过观察窗口的光强度变化转换成相应的电压信号。由 4 个光敏器件获得的 4 路光电信号分别送到 2 只差分放大器输入端，从差分放大器输出的两路信号其相位差为 90° ，为得到判向和计数脉冲，需对这两路信号进行整形，首先把它们整形为占空比为 1:1 的方波。然后，通过对方波的相

位进行判别比较，就可以得到光栅尺的移动方向。通过对方波脉冲进行计数，可以得到光栅尺的位移和速度。

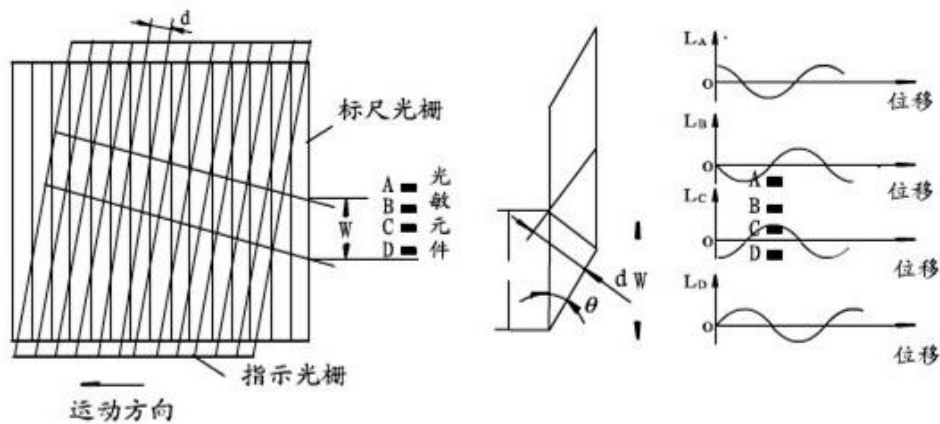


图 2-3-2 直线光栅莫尔条纹工作特性

② 程序设计

Paradox collect filter qep -- Hardware Test Control Demo

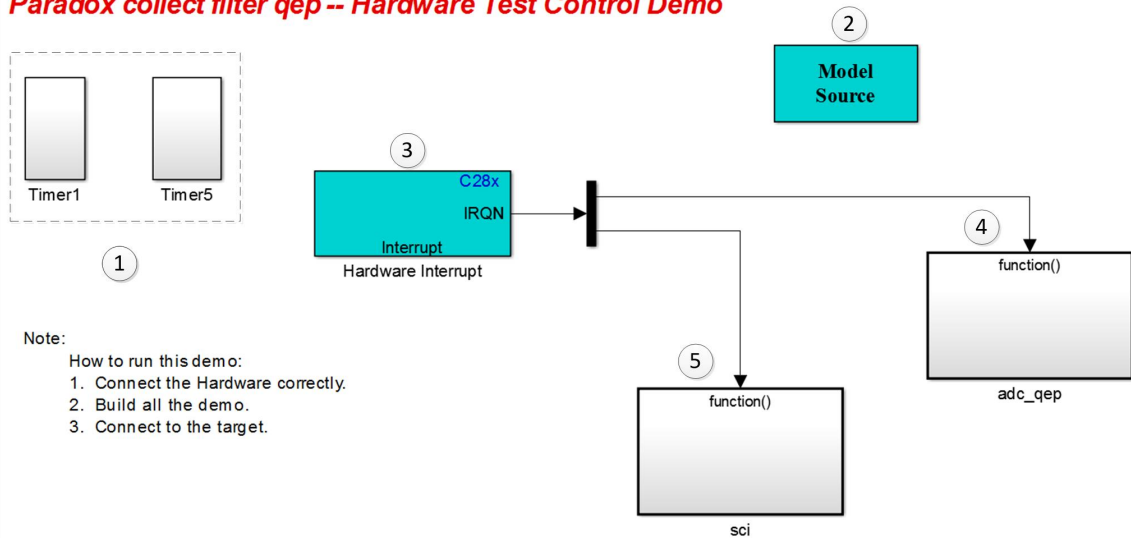


图 2-3-3 下位机程序



图 2-3-4 程序设计流程框图

程序设计思想：首先需要使用 DSP 采集编码器在转动时产生的基础电压信号，在底层进行中值滤波处理，然后把数据发送到上层 Matlab 进行波形显示。

模块①为定时模块，给④号和⑤号模块进行定时，分别是定时采集 ADC 信号和下位机向上位机发送数据；

模块②定义变量和数组的模块，具体代码如下；

```
int a= 0;
Uint16 buff[4000];
Uint16 cout_qep= 0;
Uint16 medianA[5];
Uint16 medianB[5];
Uint16 median_filterA[5];
Uint16 median_filterB[5];
Uint16 cout_filter= 0;
Uint16 median_Temp= 0;
```

模块③创建将执行的下游子系统的中断服务程序，用来协调④，⑤号模块的触发优先级；

模块④采集 A、B 相电压信号，并进行滤波处理；

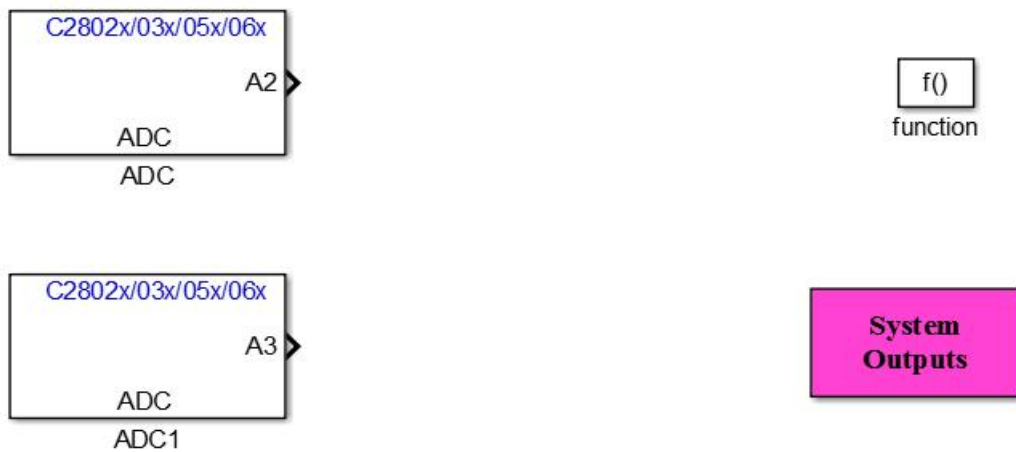


图 2-3-5 采集 A、B 相电压信号示意图

模块⑤向上位机发送数据，上位机 Matlab 进行波形显示。

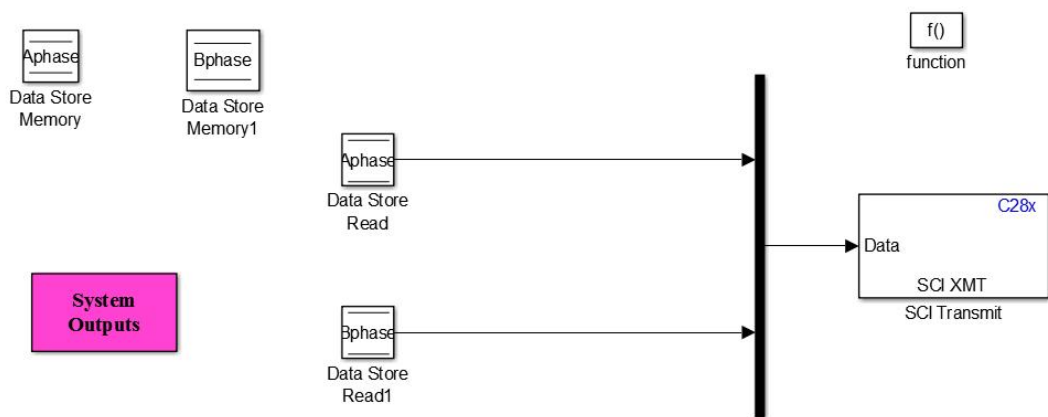


图 2-3-6 向上位机发送数据示意图

③ 中值滤波

图 2-3-5 中的 System Outputs 模块中的中值滤波代码如下。

```

medianA[cout_filter]= AdcResult.ADCRESULT0;
medianB[cout_filter]= AdcResult.ADCRESULT1;
cout_filter++;
if (cout_filter==5)
{
    cout_filter= 0;
}
median_filterA[0]= medianA[0];
median_filterA[1]= medianA[1];
median_filterA[2]= medianA[2];
median_filterA[3]= medianA[3];
median_filterA[4]= medianA[4];

median_filterB[0]= medianB[0];
median_filterB[1]= medianB[1];
median_filterB[2]= medianB[2];
median_filterB[3]= medianB[3];
median_filterB[4]= medianB[4];

int i,j;
for (j = 0; j < 5-1; j ++ ) {
    for (i = 0; i < 5 - j - 1; i ++ ) {
        if (median_filterA[i] > median_filterA[i + 1]) {
            median_Temp = median_filterA[i];
            median_filterA[i] = median_filterA[i + 1];
            median_filterA[i+1] = median_Temp;
        }
    }
}

for (j = 0; j < 5-1; j ++ ) {
    for (i = 0; i < 5 - j - 1; i ++ ) {
        if (median_filterB[i] > median_filterB[i + 1]) {
            median_Temp = median_filterB[i];
            median_filterB[i] = median_filterB[i + 1];
            median_filterB[i+1] = median_Temp;
        }
    }
}
}

```

中值滤波是基于排序统计理论的一种能有效抑制噪声的非线性信号处理技术。它也是一种邻域运算，类似于卷积，但计算的不是加权求和，而是把数字图像或数字序列中一点的值用该点的一个邻域中各点值的中值代替，让周围像素灰度值的差比较大的像素改取与周围的像素值接近的值，从而消除孤立的噪声点。它能减弱或消除傅立叶空间的高频分量，同时会影响低频分量。因为高频分量对

应图像中的区域边缘的灰度值具有较大较快变化的部分，该滤波可将这些分量滤除，使图像平滑。中值滤波技术在衰减噪声的同时能较好的保护图像的边缘。

中值滤波数学实现：对一个数字信号序列 $x_j (j \in (-\infty, +\infty))$ 进行滤波处理时，首先要定义一个长度为奇数的 L 长窗口， $L=2N+1$ ， N 为正整数。设在某一个时刻，窗口内的信号样本为 $x_{i-N}, \dots, x_i, \dots, x_{i+N}$ ，其中 x_i 为位于窗口中心的信号样本值。对这 L 个信号样本值按从小到大的顺序排列后，取其中值，在 i 处的样值，定义为中值滤波的输出值。

中值滤波的算法流程如图 2-3-7 所示，其中 $Y(N)$ 为采样样本值。

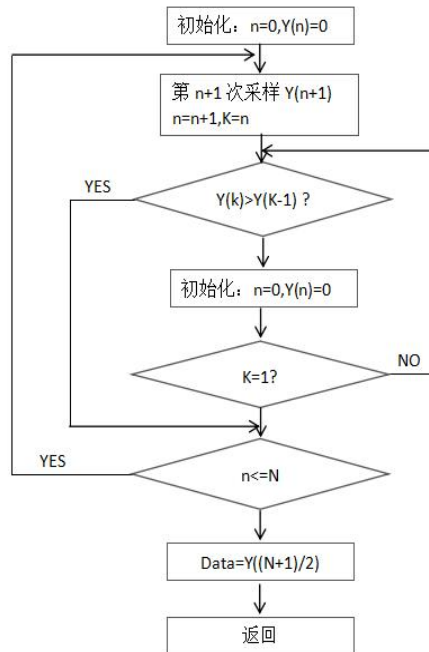


图 2-3-7 中值滤波的算法流程

3.实验步骤

(1) 旋转变压器信号检测

① 线路连接：CN1 和 CN2 连接，USB 与上位机 USB 连接，连接电源，然后向上推动断路器开关上电，如图 3-1-1 所示；

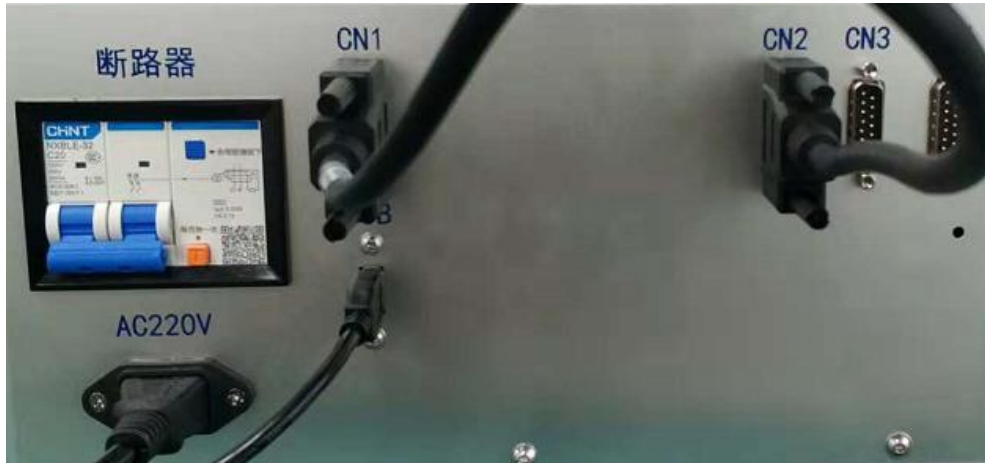


图 3-1-1 硬件连接示意图

② 打开 Matlab，目录“C:\ProgramFiles\MATLAB\R2015b\workspace\Sensor\sin_test.slx”中程序，编译。如下图 3-1-2 所示；

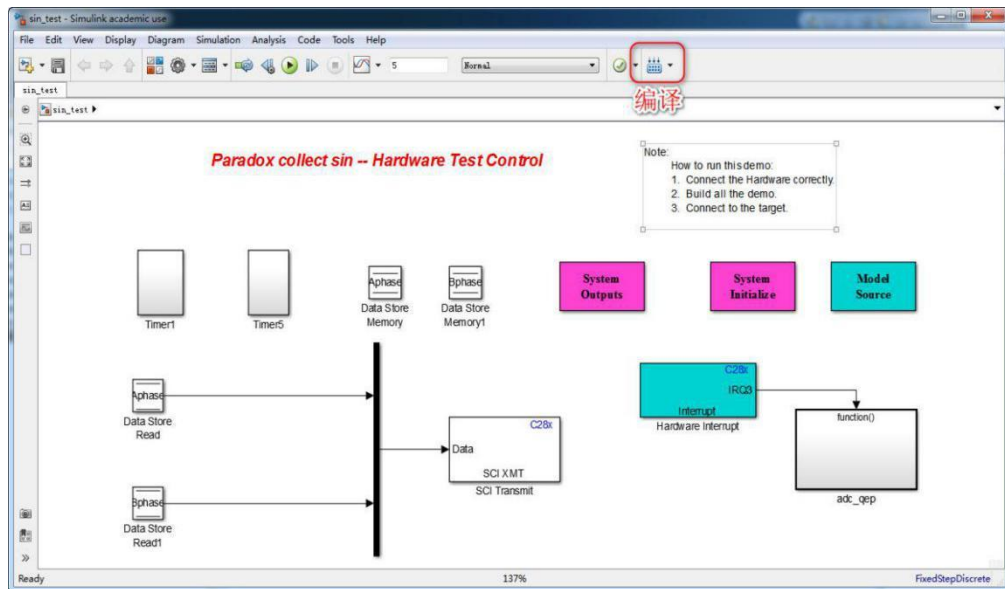


图 3-1-2 编译 DSP 通讯程序

③ 编译完成后，会弹出如下对话框，表示成功下载 DSP 通讯程序。

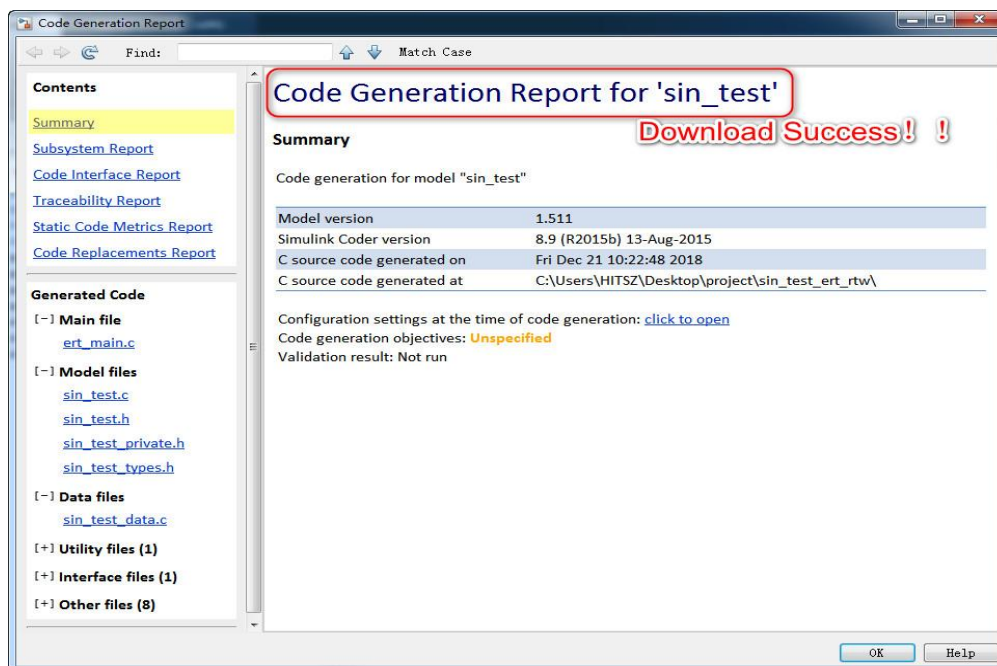


图 3-1-3 DSP 通讯程序下载成功示意图

④ 关闭上述对话框和 sin_test.slx 程序。打开 sin_scope.slx 程序，如图 3-1-4 所示。

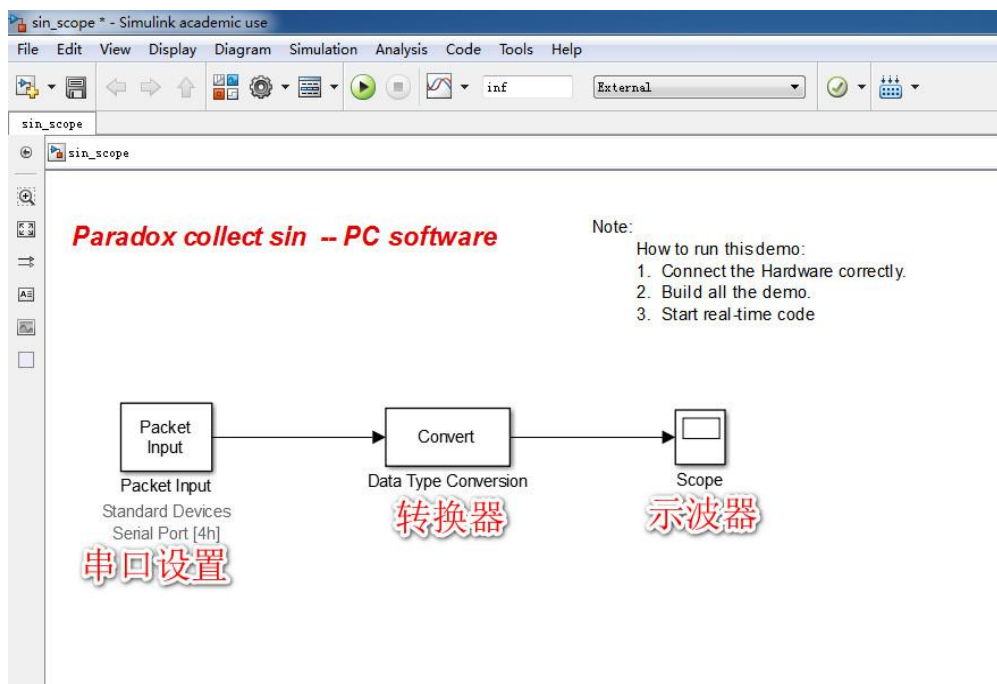


图 3-1-4 sin_scope.slx 程序界面

⑤ 串口设置：双击“packet input”模块，选择对应串口号（查看电脑设备管理器），波特率设置为 115200，如图 3-1-5 所示。

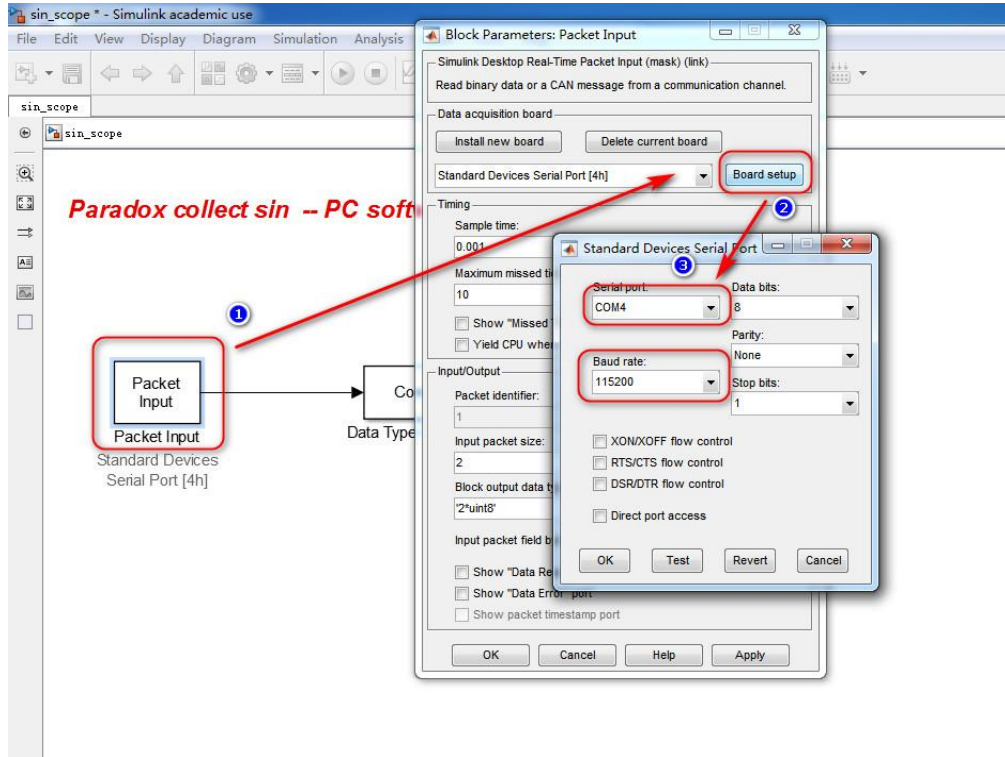


图 3-1-5 串口设置界面

⑥ 编译、运行 `sin_scope.slx` 程序，如图 3-1-6 所示。

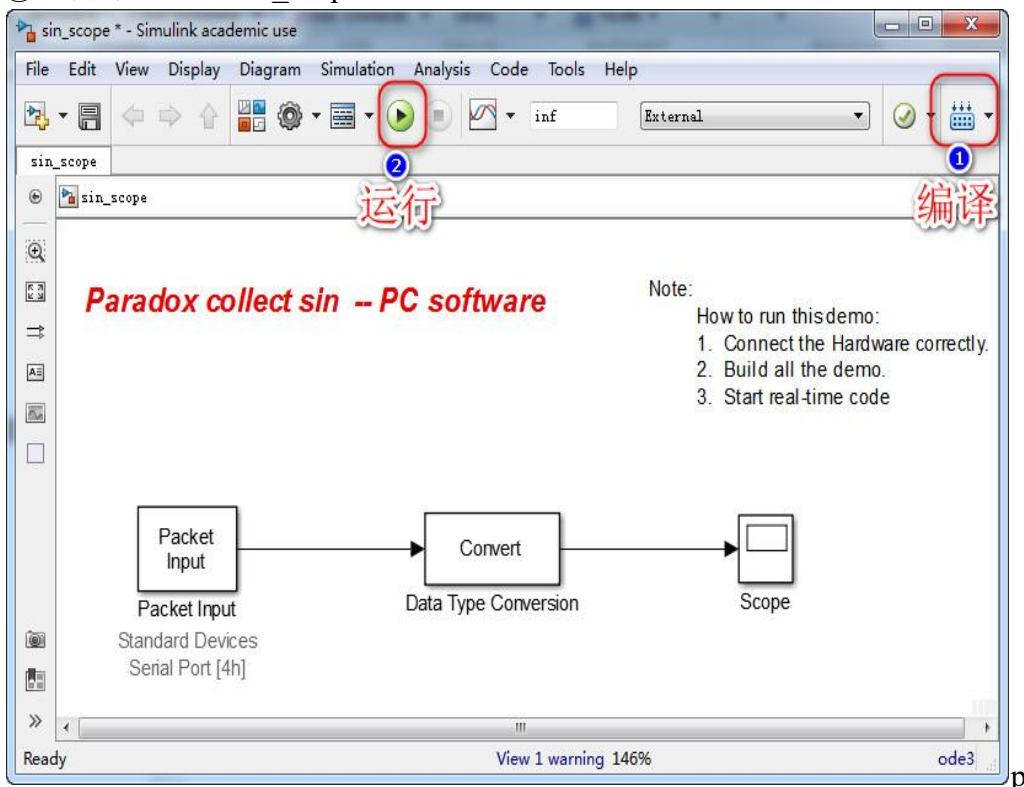


图 3-1-6 `sin_scope.slx` 程序界面

⑦ 打开 Scope 示波器，手动旋转电箱上旋转变压器对应的圆盘（注意匀速/变速旋转的情况），观察对应的波形，以及包络线波形，如图 3-1-7~3-1-9 所示。

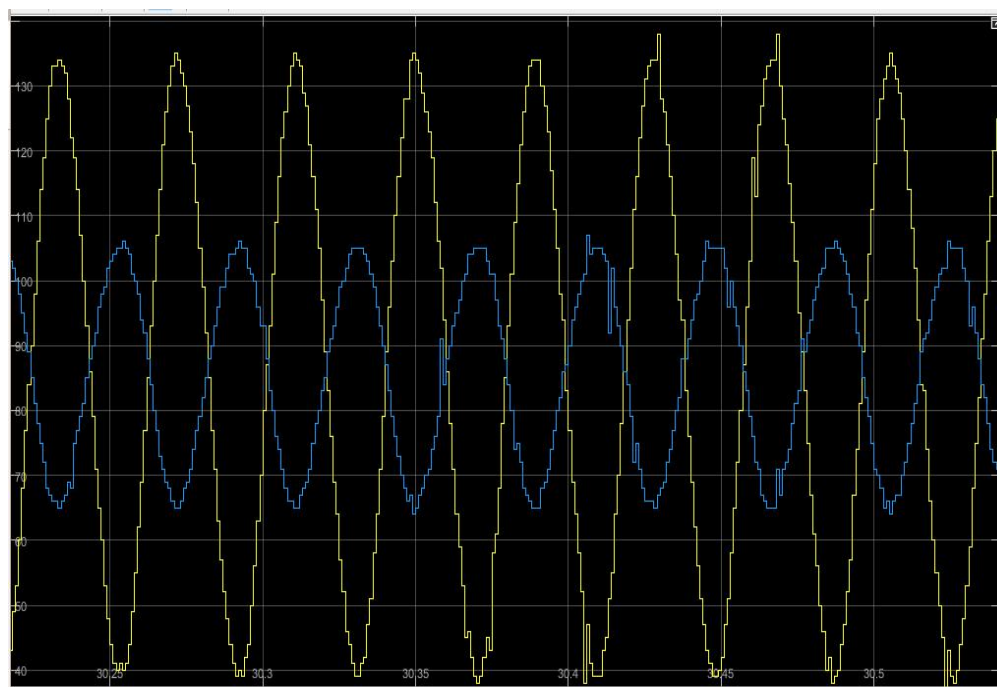


图 3-1-7 旋转变压器波形放大图

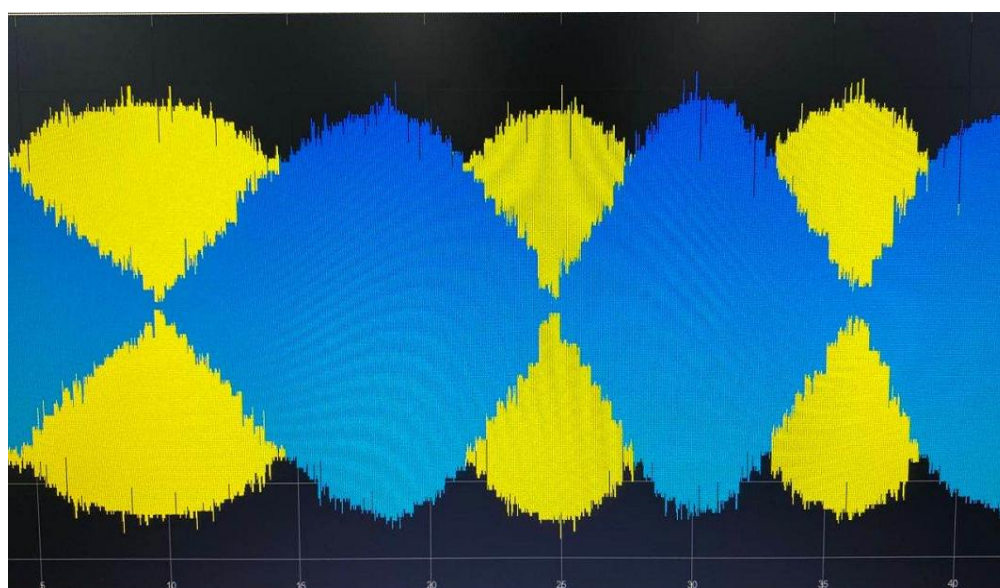


图 3-1-8 旋变匀速旋转波形图

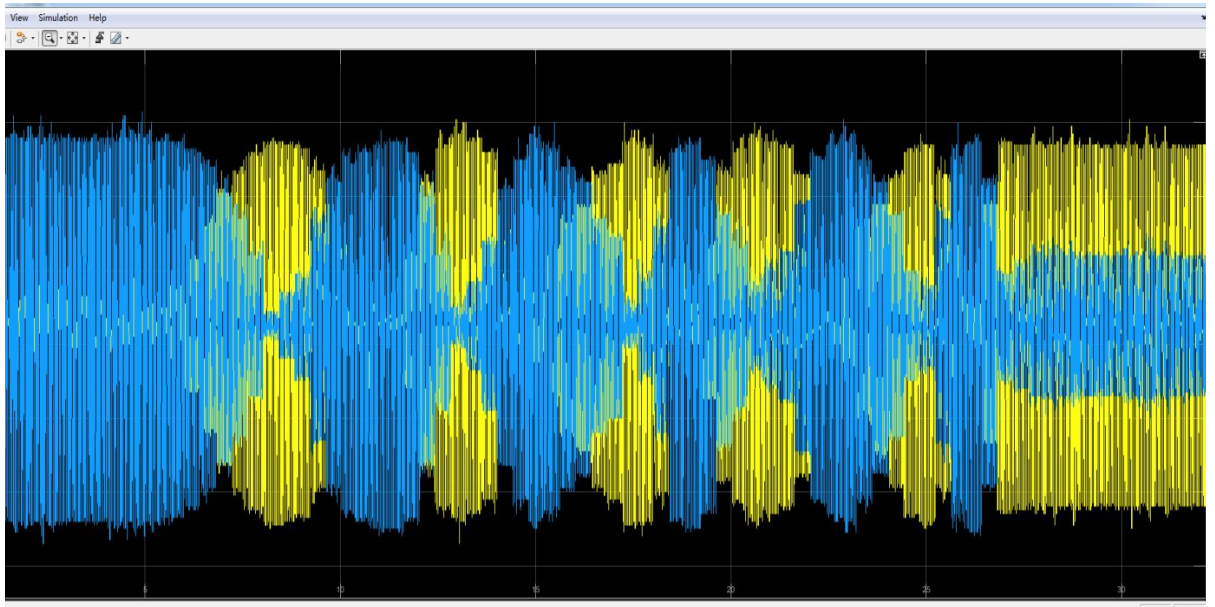


图 3-1-9 非匀速旋转波形图

(2) 增量式编码器信号检测

① 上一步骤实验结束后，断开断路器开关，给设备断电再改变接线。并关闭程序“sin_scope.slx”界面。线路连接：CN1 和 CN3 连接，USB 与上位机 USB 连接，连接电源，然后向上推动断路器开关上电，如图 3-2-1 所示；



图 3-2-1 线路连接示意图

② 打开 Matlab，打开目录“C:\ProgramFiles\MATLAB\R2015b\workspace\sensor”中的 qep_adc.slx 文件，编译下载，如图 3-2-2 所示。

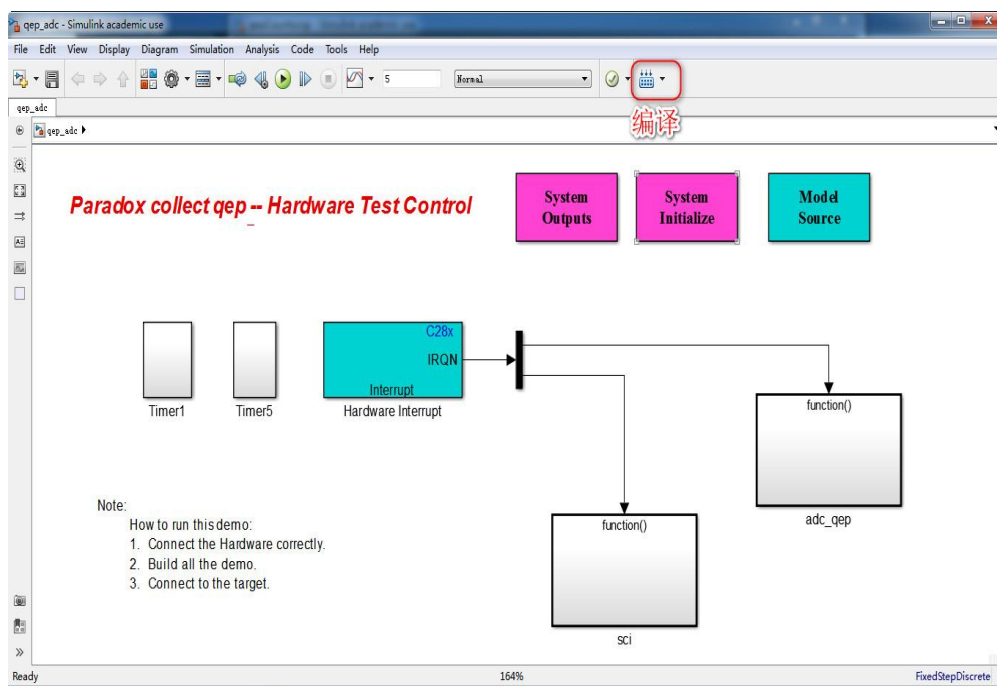


图 3-2-2 编译 DSP 通讯程序示意图

③ 编译完成后，弹出如下对话框，表示 DSP 通讯程序下载成功。如图 3-2-3 所示，然后关闭该对话框，以及该程序界面。

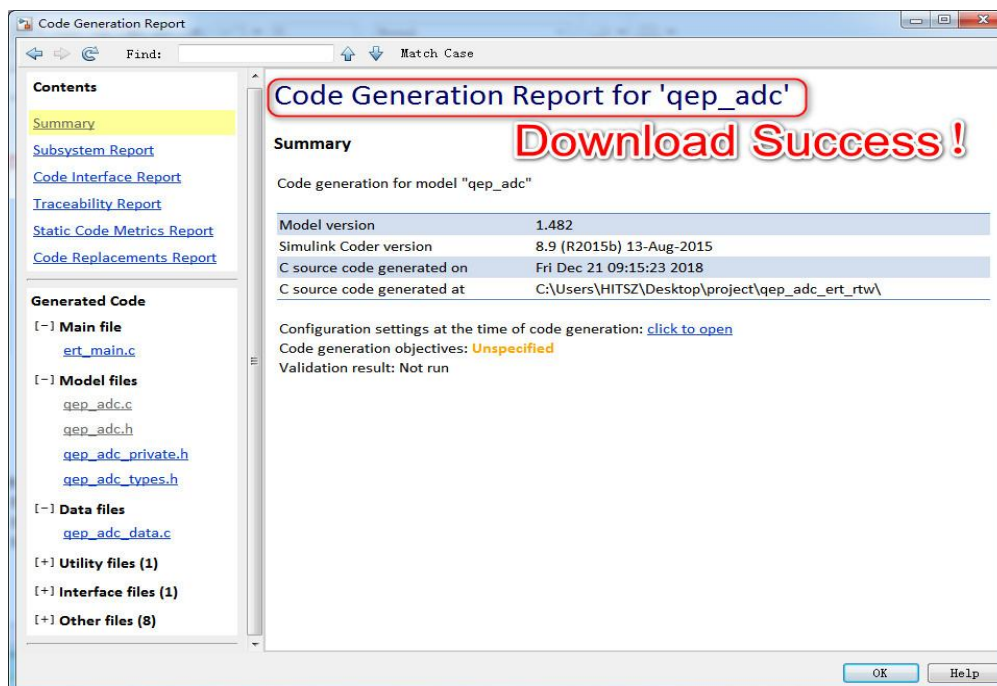


图 3-2-3 DSP 通讯程序下载成功示意图

④ 打开 qepCountscop.slx 程序，如图 3-2-4 所示；

Paradox collector qep -- PC software

- How to run this demo:
1. Connect the Hardware correctly.
 2. Build all the demo.
 3. Start real-time code

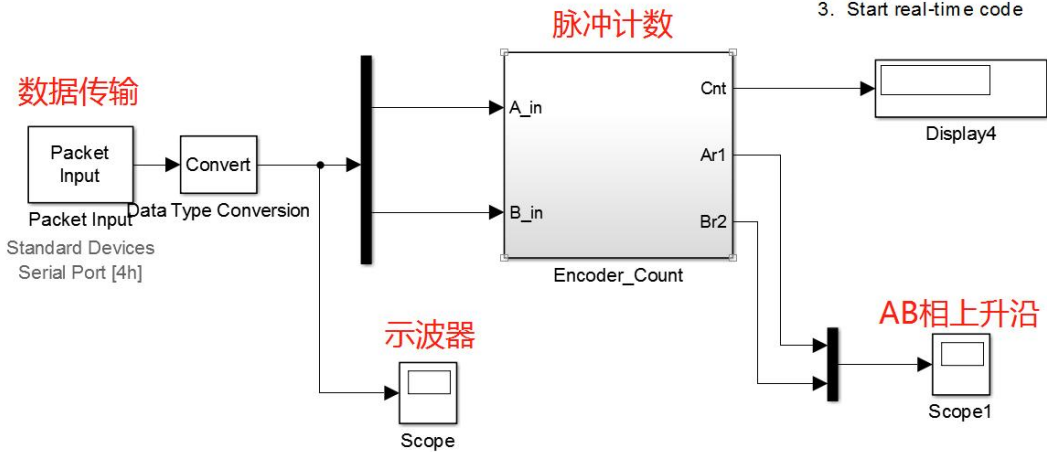


图 3-2-4 qepCounts cop.slx 程序示意图

⑤ 串口设置：双击“packet input”模块，选择对应串口号（查看电脑设备管理器），波特率设置为 115200，如图 3-2-5 所示。

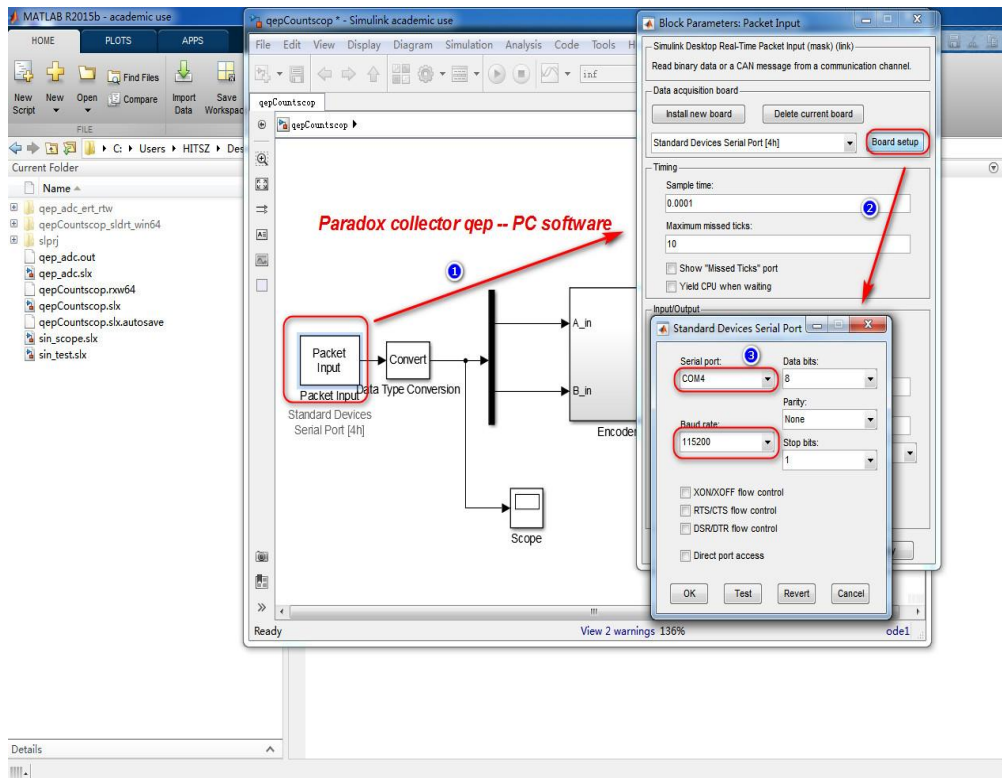


图 3-2-5 串口设置界面

⑥ 编译、运行 qepCounts cop.slx 程序，如图 3-2-6 所示：

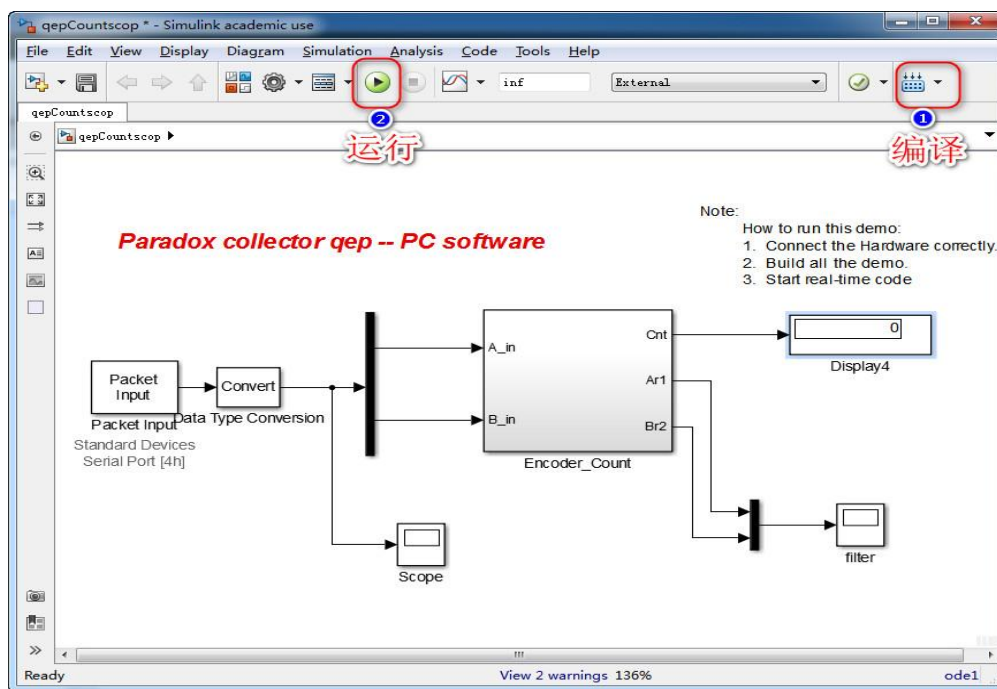


图 3-2-6 运行 qepCountscop.slx 程序

⑦ 转动增量式编码器，读取脉冲计数器的数值，显示如图 3-2-7 所示。双击 Scope 查看两相输出波形，如图 3-2-8~3-2-9。

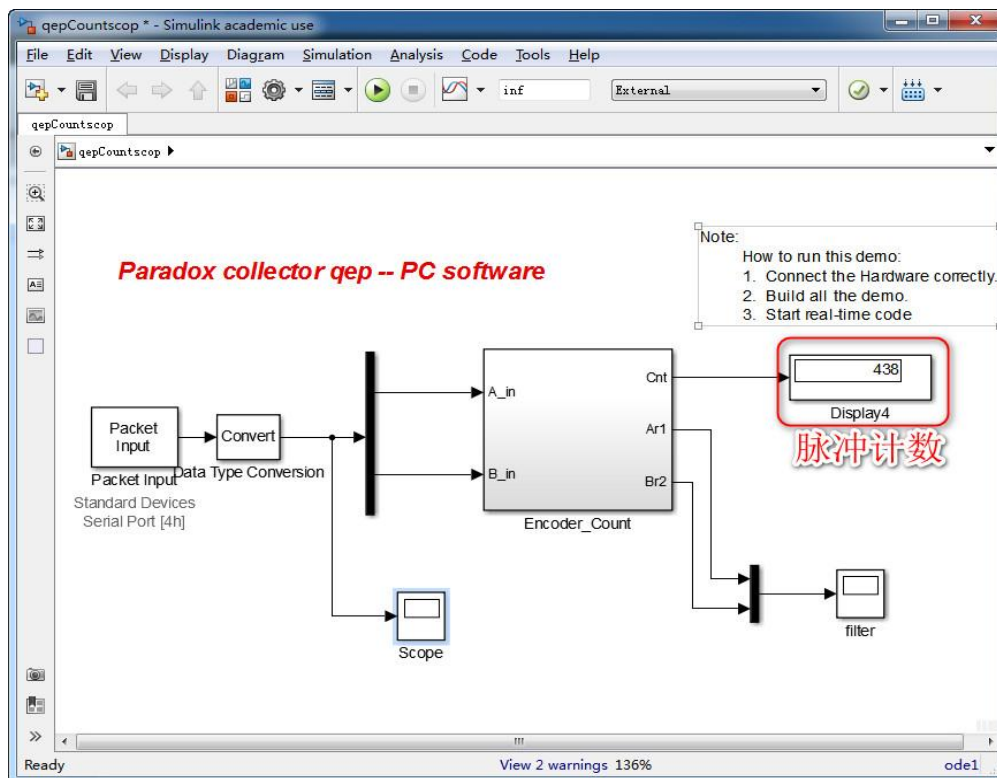


图 3-2-7 脉冲计数器数值显示

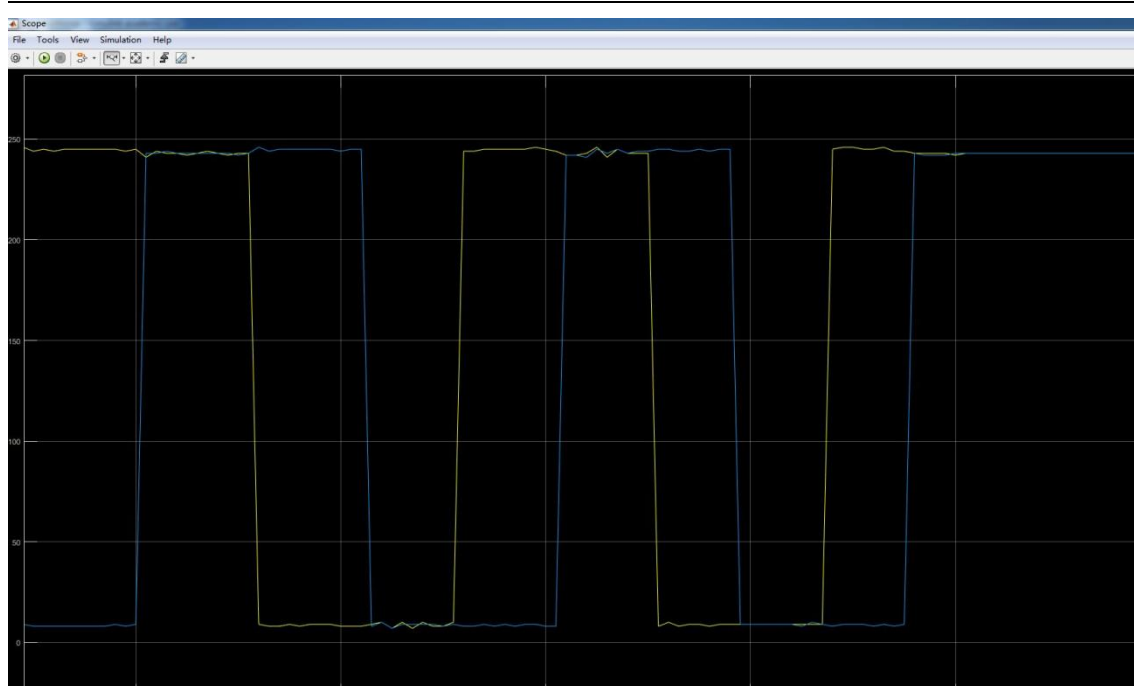


图 3-2-8 A、B 两相脉冲波形显示 (假设正向)



图 3-2-9 A、B 两相脉冲波形显示 (相对图 3-2-8 负向)

(3) 光栅尺信号检测

① 上一步骤实验结束后，断开断路器开关，给设备断电再改变接线。并关闭程序“qepCountscope.slx”界面。线路连接：CN1 和 CN4 连接，USB 与上位机 USB 连接，连接电源，然后向上推动断路器开关上电，如图 3-3-1 所示。



图 3-3-1 硬件连接示意图

② 打开 Matlab，在目录“C:\ProgramFiles\MATLAB\R2015b\workspace\sensor”中打开 qepadc.slx 程序，编译下载。如下图 3-3-2 所示。

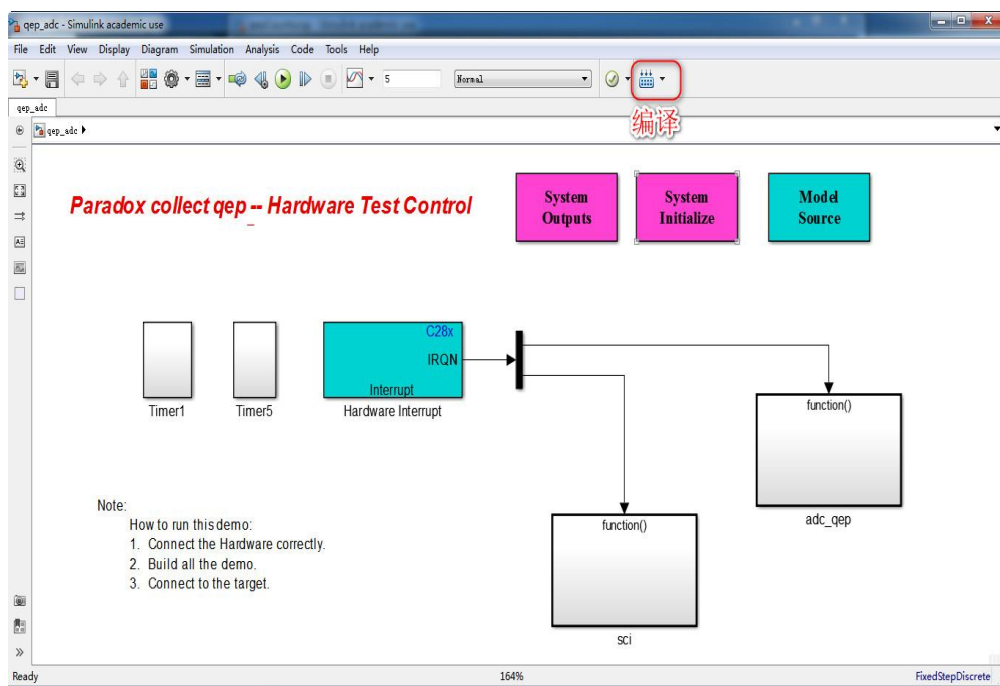


图 3-3-2 编译 DSP 通讯程序示意图

③ 编译完成后，会弹出如下对话框，表示 DSP 通讯程序下载成功。然后关闭该对话框以及 qepadc.slx 程序。

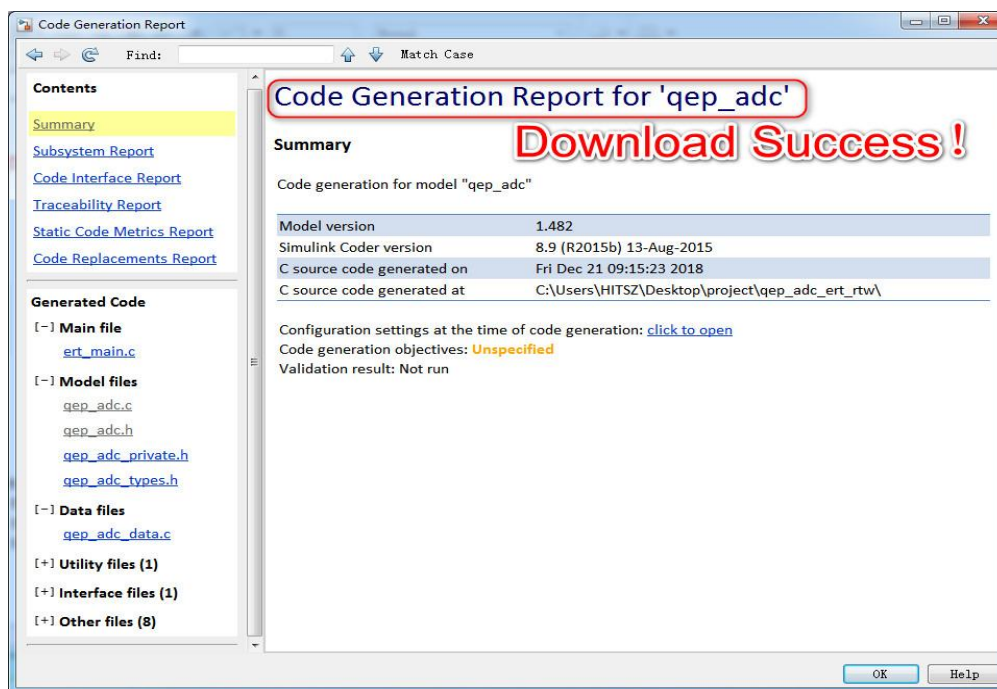


图 3-3-3 DSP 通讯程序下载成功示意图

④ 打开 qepCountscop.slx 程序，如图 3-3-4 所示；

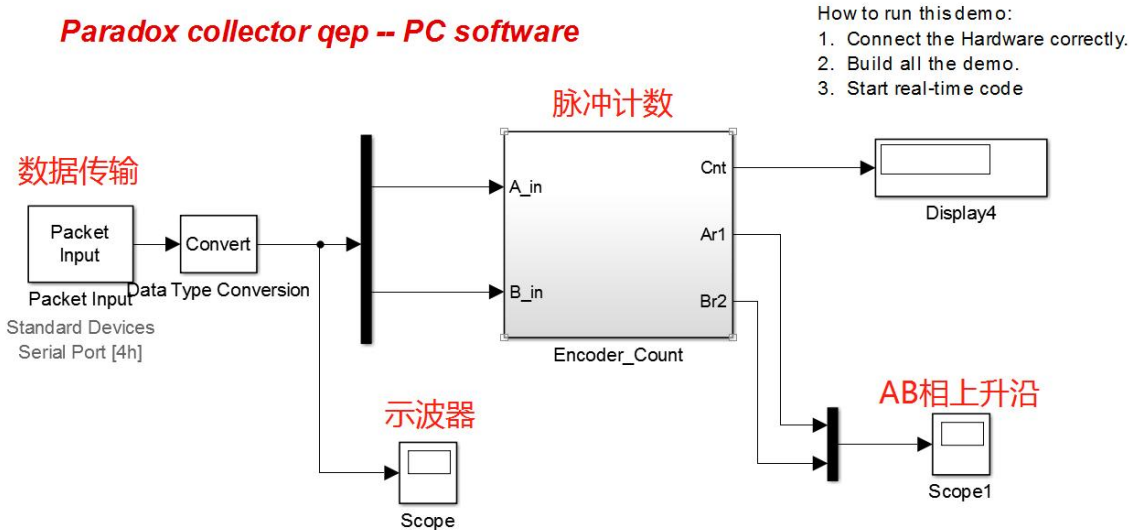


图 3-3-4 qepCountscop.slx 程序界面

⑤ 串口设置：双击“packet input”模块，选择对应串口号（查看电脑设备管理器），波特率设置为 115200，如图 3-3-5 所示。

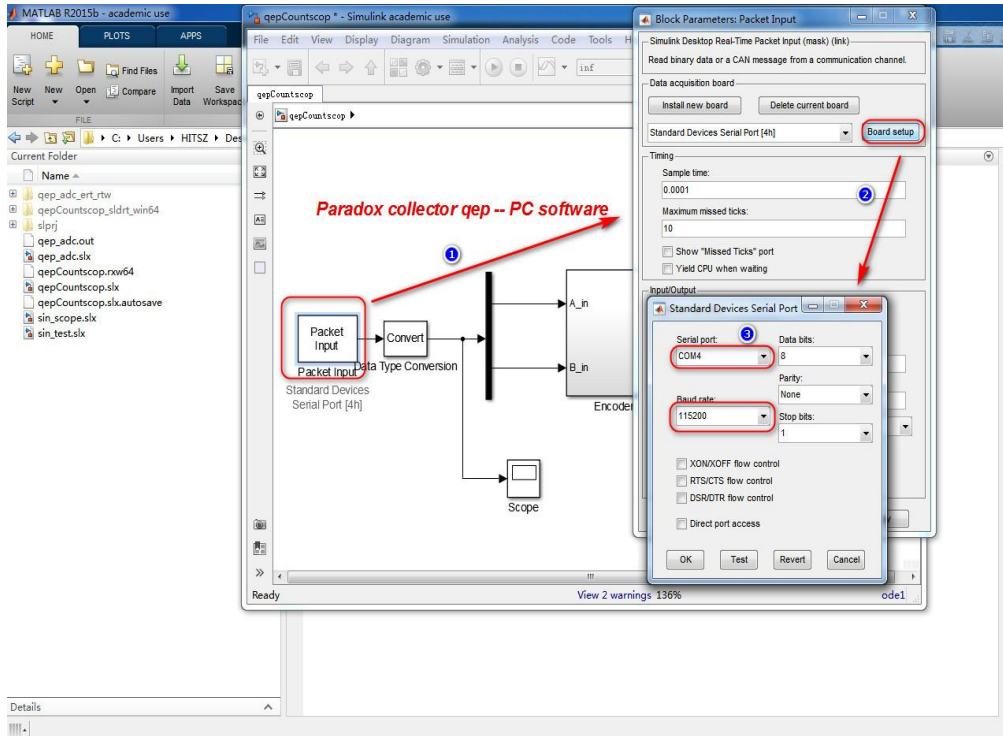


图 3-3-5 串口设置界面

⑥ 编译、运行 qepCountscop.slx 程序，如图 3-3-6 所示；

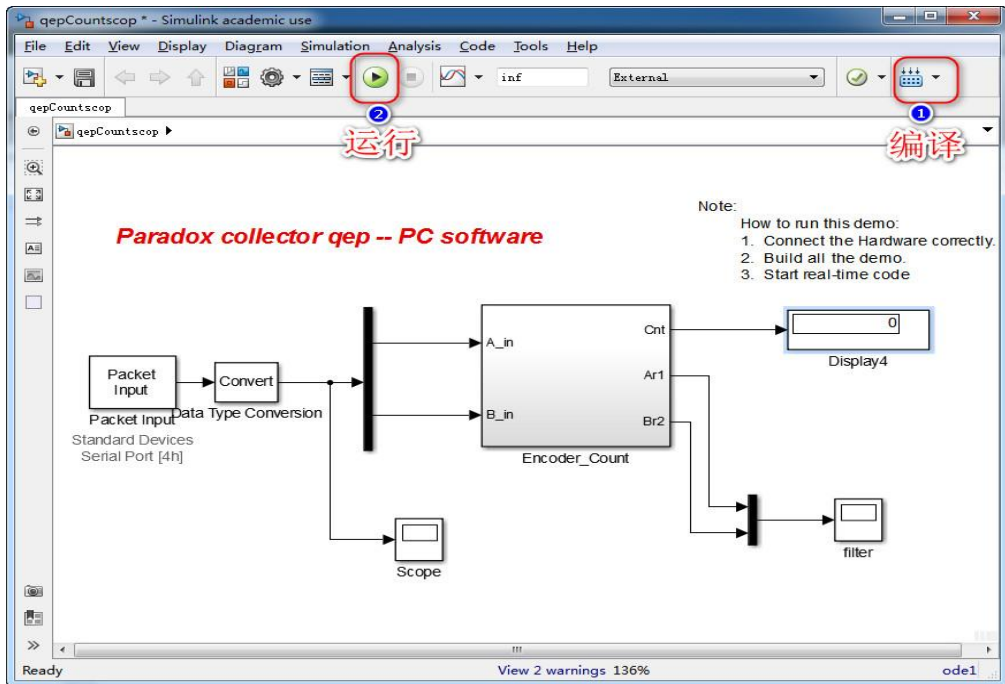


图 3-3-6 运行 qepCountscop.slx 文件

⑦ 打开 Scope 示波器，滑动光栅尺对应的滑块，观察输出的波形，如图 3-3-7 所示。

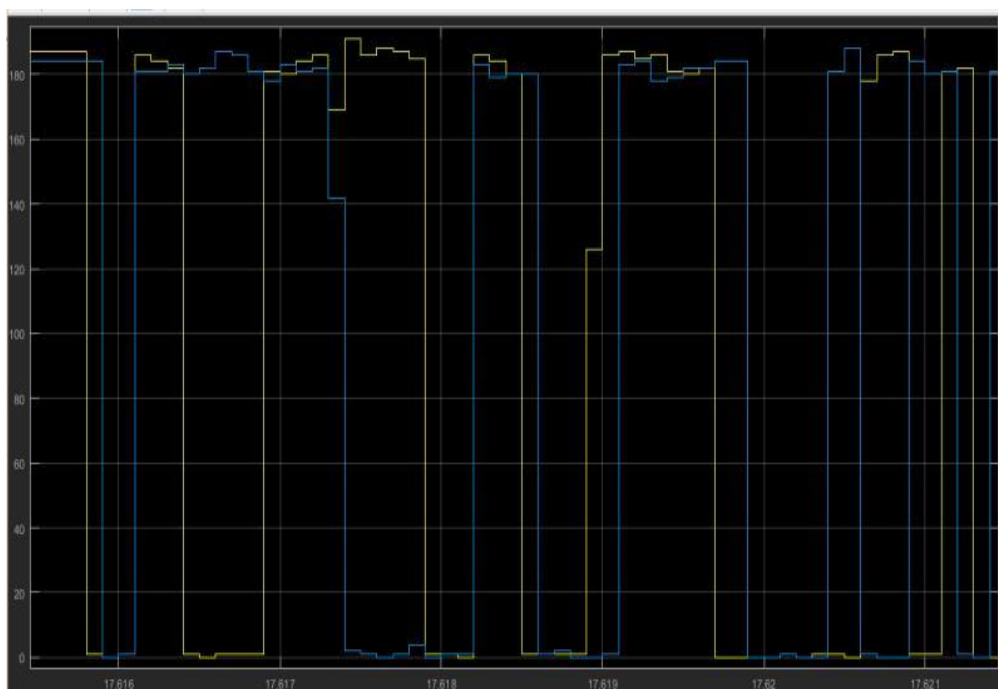


图 3-3-7 滤波前光栅尺两相信号输出波形

⑧ 打开 Scope1（某些电脑显示 filter）示波器，滑动光栅尺对应的滑块，观察对应的波形，如图 3-3-8 所示：

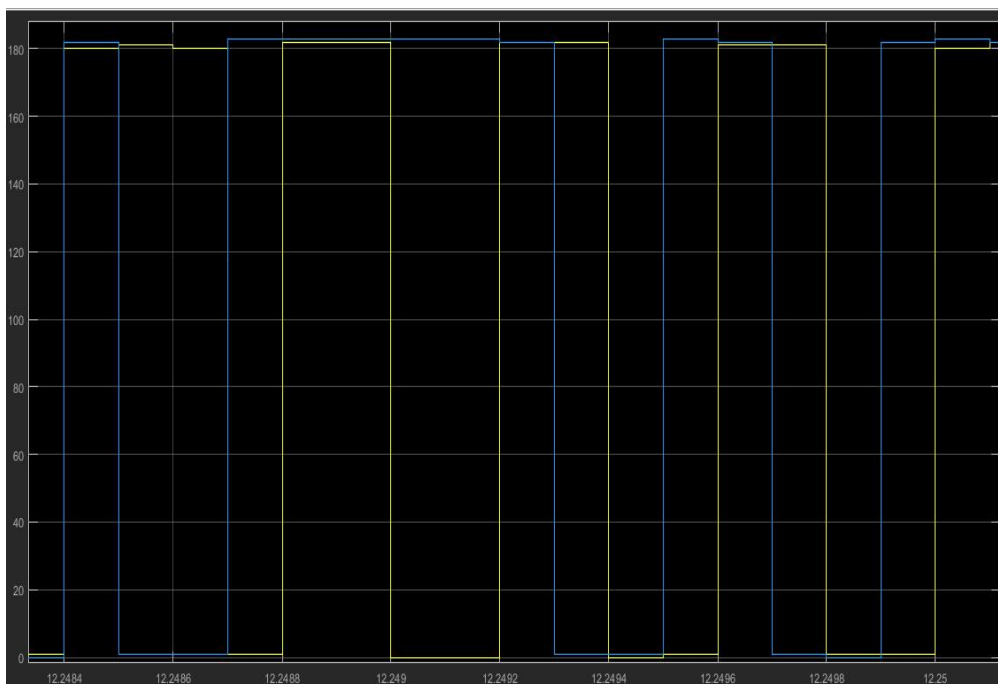


图 3-3-8 A、B 相上升沿光栅尺波形

4.实验分析

- (1) 任取一相旋变输出信号为 \sin 相，采集旋变两相输出信号的波形，手动匀速旋转滑轮，记录相应旋转变压器输出信号的包络波形。分析如何根据旋转变压器反馈的正弦波信号计算旋转角度？
- (2) 记录正、反向旋转编码器转动一圈的计数数值。编码器分辨率为 600P/R，采用四倍频处理电路，结合实验数据自行分析整圈累计角度数值的正确性。
- (3) 手动滑动光栅，记录正/反向滑动时，两相光栅信号的波形。分析增量光栅信号与增量编码器信号的波形是否一致？

注意事项

1. 改变实验设备接线方式时，请先给驱动器断电，方法：断开断路器开关。
2. 注意 Matlab 程序路径中不可有中文。
3. 关闭实验程序时，若弹出提示是否保存改变，请务必选择“否”，不可影响后续实验。

附录 1 系统硬件介绍

1.1 系统构成

系统主要由 DSP 驱动版、增量式编码器、光栅尺、分压板、旋转变压器及信号发生器等主要部件组成，系统结构如图 1-1 所示。

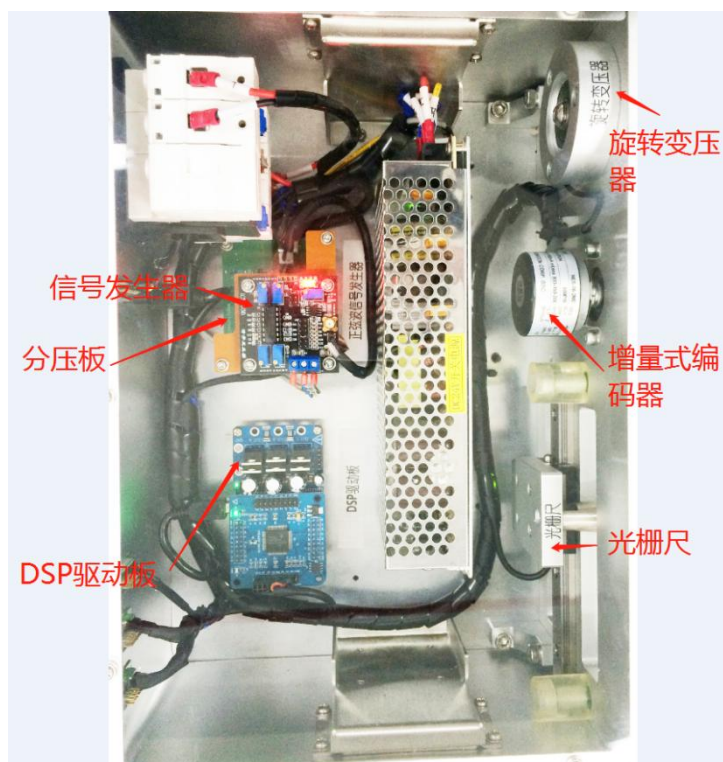


图 1-1 传感与测量反馈元件特性实验平台系统示意图

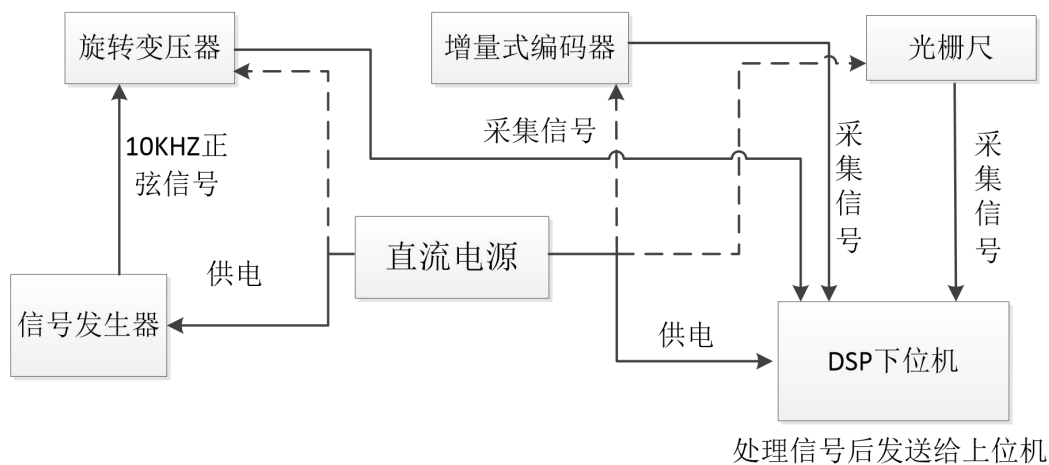


图 1-2 硬件连接原理框图

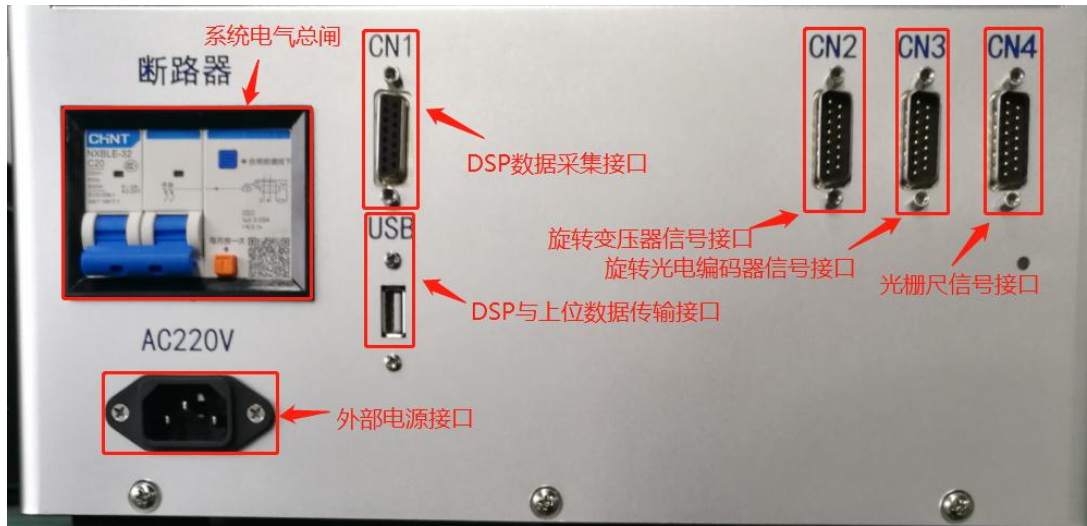


图 1-3 外部电气接口定义

1.2 DSP 核心板

1.2.1 接线定义

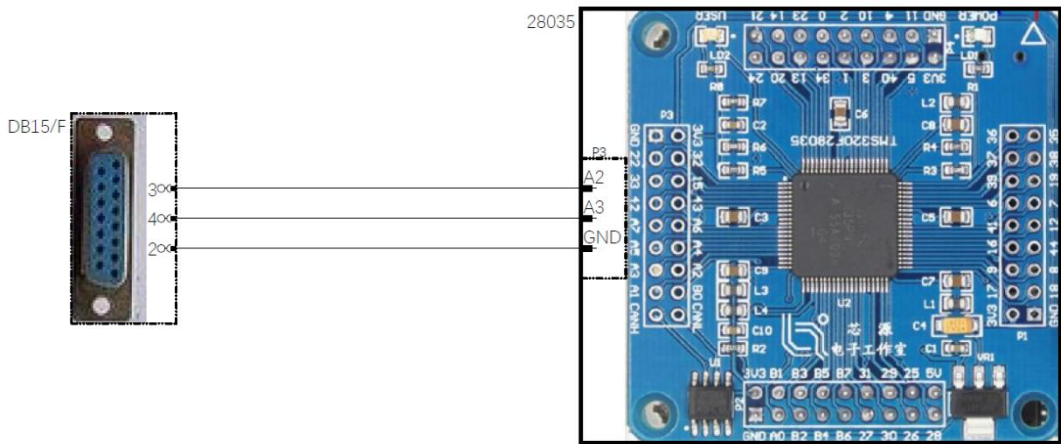


图 1-4 DSP 核心板接线定义

1.2.2 参数

表 1-1 DSP 核心板参数

28035 核心板	
特点	32 位中央处理单元(CPU)
	60MHz 主频
	45 个复用通用输入输出(GPIO)引脚
	三个 32 位 CPU 定时器
	串行端口外设(一路 SCI/两路 SPI/一路 I2C/一路 LIN/一路 eCAN)
	14 路增强型脉宽调制器(ePWM), 可选高分辨率 PWM(HRPWM)
	一路增强型捕捉(eCAP)
	两路高分辨率输入捕获(HRCAP)
	一组增强型正交编码器脉冲(eQEP)

	16 路模数转换器 (ADC) 12 位 AD
	可编程控制律加速器(CLA) , 32 位浮点算术加速器独立于主 CPU 之外的代码执行

1.2.3 功能特点

DSP 芯片，也称数字信号处理器，是特别适用于数字信号处理运算的一种微处理器，其主要应用是实时快速地实现各种数字信号处理算法。根据数字信号处理的要求，DSP 芯片一般具有如下主要特点：

- 在一个指令周期内可完成一次乘法和一次加法；
 - 程序和数据空间分开，可以同时访问指令和数据；
 - 片内具有快速 RAM，通常可通过独立的数据总线在两块中同时访问；
 - 具有低开销或无开销循环及跳转的硬件支持；
 - 快速的中断处理和硬件 I/O 支持；
 - 具有在单周期内操作的多个硬件地址产生器；
 - 可以并行执行多个操作；
 - 支持流水线操作，使取指、译码和执行等操作可以重叠执行。
- 本系统采用的为 DSP-F28035 核心板，如图 1-5 所示：



图 1-5 DSP 核心板系统示意图

该系列微控制器为 C28x™内核和控制律加速器(CLA)供电，此内核和 CLA 与低引脚数量器件中的高集成控制外设向耦合。该系列的代码与以往基于 C28x 的代码相兼容，并且提供了很高的模拟集成度。一个内部电压稳压器允许单一电源运行。对 HRPWM 模块实施了改进，以提供双边缘控制（调频）。增设了具有内部 10 位基准的模拟比较器，并可直接对其进行路由以控制 PWM 输出。ADC 可在 0V 至 3.3V 固定全标度范围内进行转换操作，并支持公制比例 VREFHI/VREFLO 基准。ADC 接口专门针对低开销/低延迟进行了优化。

1.3 增量式编码器

1.3.1 接线定义

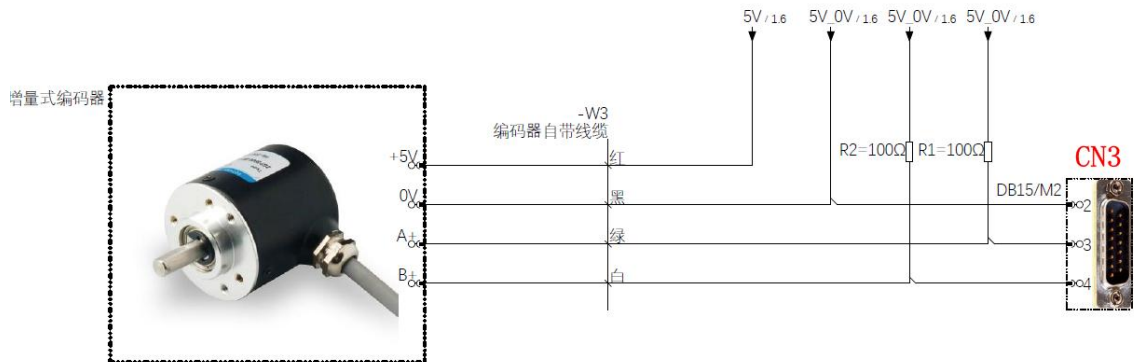


图 1-6 增量式编码器接线定义

1.3.2 参数

表 1-2 增量式编码器基本参数及引脚定义

编码器型号	HES-06-2MD
线数 (P/R)	600
红	+5V
黑	0V, COM
绿	A+
蓝	A-
白	B+
灰	B-
黄	Z+
橘	Z-

1.3.3 特性

增量式编码器是用于测量转速结合 PWM 技术实现快速调速的装置,此增量式编码器为光电式旋转编码器。通过光电转换,可将输出轴的角位移、角速度等机械量转换成相应的电脉冲以数字量输出 (REP)。分为单路输出和双路输出两种。技术参数主要有分辨率和供电电压等。单路输出是指旋转编码器的输出是一组脉冲,而双路输出的旋转编码器输出两组 A/B 相位差 90 度的脉冲,通过这两组脉冲不仅可以测量转速,还可以判断旋转的方向。本系统采用 HES-06-2MD 旋转增量式编码器。如图 1-7 所示。



图 1-7 增量式编码器示意图

1.4 光栅尺

1.4.1 接线定义

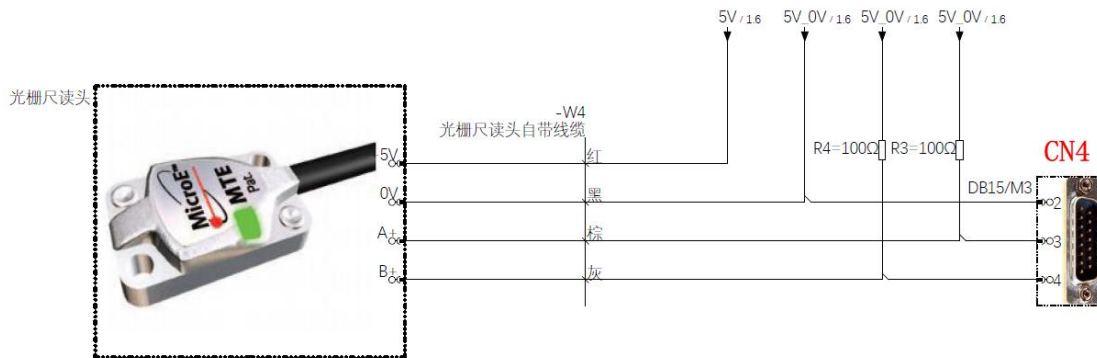


图 1-8 MTE-4 光栅尺接线定义

1.4.2 参数

表 1-3 MTE-4 光栅尺基本参数及引脚定义

光栅尺型号	MTE-40
光栅采样周期 (us)	20
红	+5V
黑	0V, COM
棕	A+
橙	A-
灰	B+
白	B-
紫	Z+

1.4.3 特性及应用场景

光栅尺也称为光栅尺位移传感器（光栅尺传感器），是利用光栅的光学原理

工作的测量反馈装置。光栅尺经常应用于数控机床的闭环伺服系统中，可用作直线位移或者角位移的检测。其测量输出的信号为数字脉冲，具有检测范围大，检测精度高，响应速度快的特点。例如，在数控机床中常用于对刀具和工件的坐标进行检测，来观察和跟踪走刀误差，以起到一个补偿刀具的运动误差的作用。光栅尺按照制造方法和光学原理的不同，分为透射光栅和反射光栅。本系统采用 MTE-40 系列光栅尺，如图 1-9 所示。

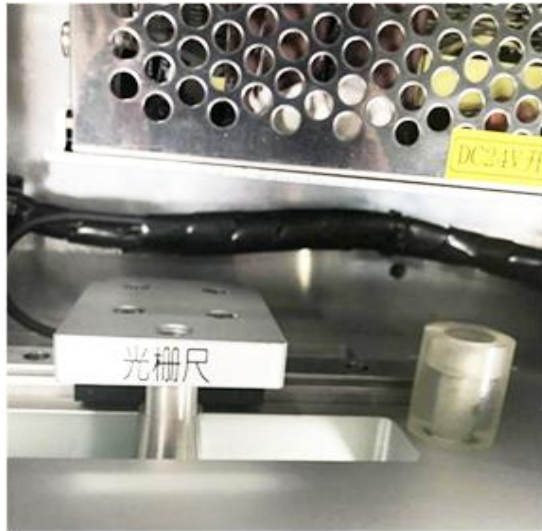


图 1-9 光栅尺示意图

1.5 正余弦旋转变压器

1.5.1 接线定义

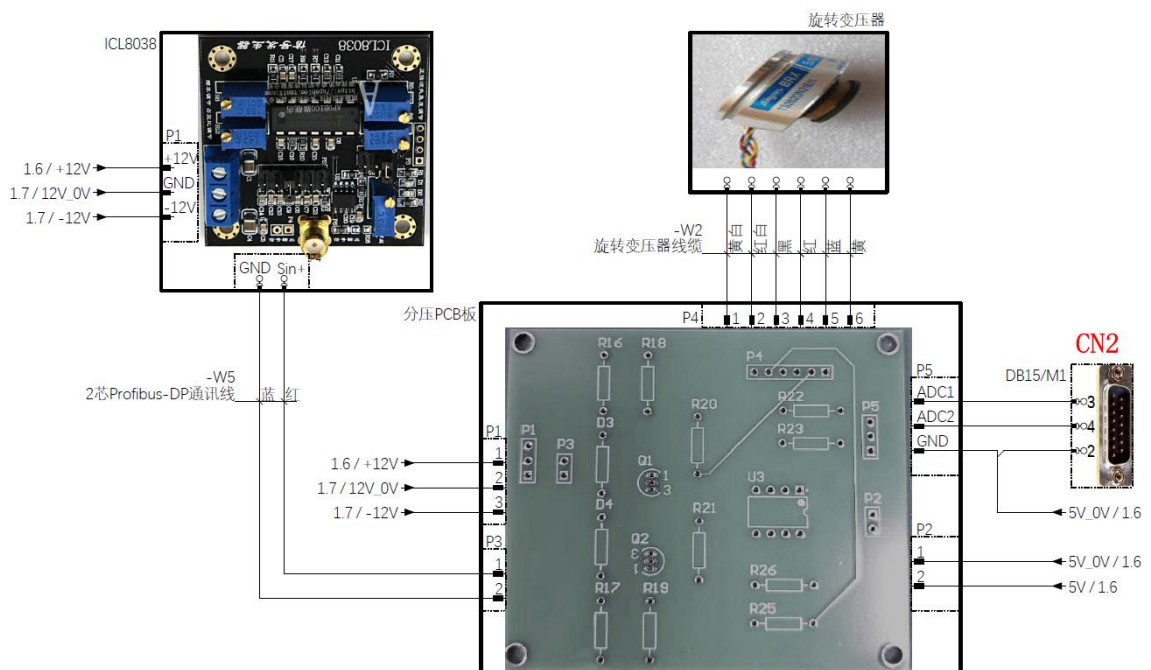


图 1-10 正余弦旋转变压器接线定义

1.5.2 参数

表 1-4 正余弦旋转变压器参数

正余弦旋转变压器型号	TS2620N21E11
初级	R1-R2
输入电压 (Vrms)	AC·7
输入频率 (kHz)	10
转换率	0.5±5%
电阻 Z_{RO} (Ω Nom)	70+j100
电阻 Z_{SO} (Ω Nom)	180+j300
电阻 Z_{SS} (Ω Nom)	175+j275

正余弦旋转变压器是一种电磁式传感器，又称同步分解器。它是一种测量角度用的小型交流电动机，用来测量旋转物体的转轴角位移和角速度，由定子和转子组成。其中定子绕组作为变压器的原边，接受励磁电压，励磁频率通常用 400Hz、3000Hz 及 5000Hz 等。转子绕组作为变压器的副边，通过电磁耦合得到感应电压。本系统使用的为多摩川 TS2620N21E11 系列的正余弦旋转编码器，如图 1-11 所示。

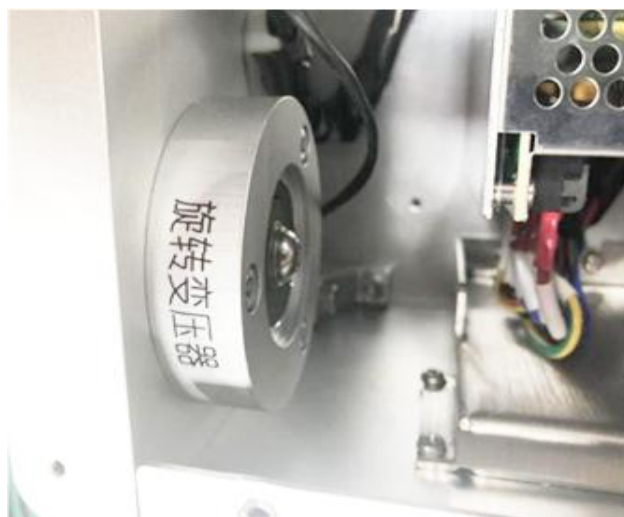


图 1-11 TS2620N21E11 正余弦旋转编码器示意图

1.6 ICL8038 低频信号源发生器

1.6.1 接线定义

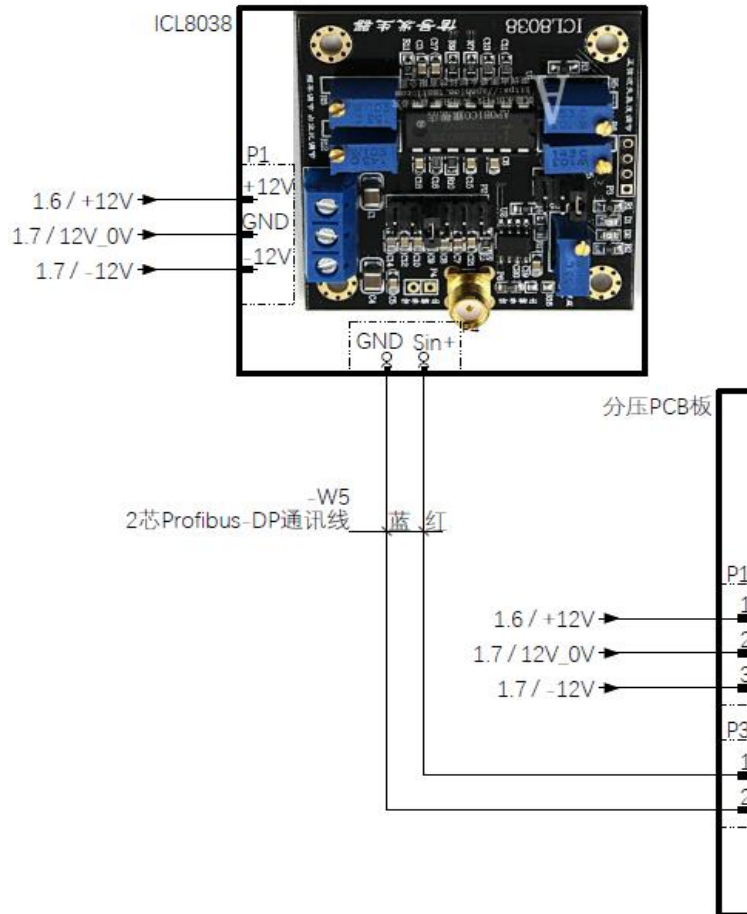


图 1-12 信号发生器接线定义

1.6.2 基本特征

1. 可同时输出任意的三角波、矩形波和正弦波等；
2. 频率范围：1kHz~30kHz；
3. 占空比范围：2%~98%；
4. 低失真正弦波：11%；
5. 三角波输出线性度：11%；
6. 工作电源：±5V~±12V。

1.6.3 简介

信号发生器是一种能提供各种频率、波形和输出电平电信号的设备。在测量各种电信系统或电信设备的振幅特性、频率特性、传输特性及其它电参数时，以及测量元器件的特性与参数时，用作测试的信号源或激励源。信号发生器又称信号源或振荡器，在生产实践和科技领域中有着广泛的应用。各种波形曲线均可以

用三角函数方程式来表示。能够产生多种波形，如三角波、锯齿波、矩形波（含方波）、正弦波的电路被称为函数信号发生器。本系统中的信号发生器采用的 ICL8038 低频信号源发生器，主要为多摩川正余弦旋转变压器初级端提供 10kHz 的正弦波输入，如图 1-13 所示。

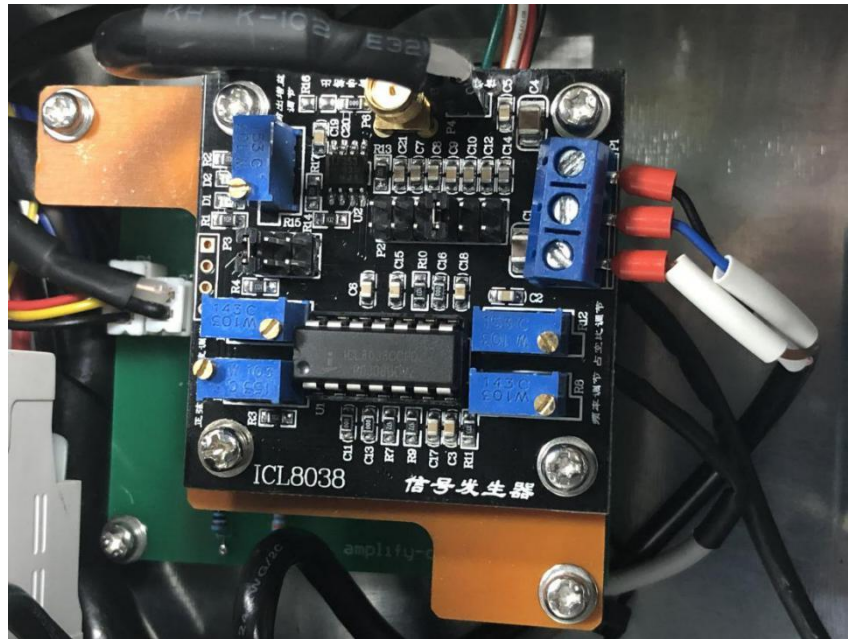


图 1-13 信号发生器示意图

1.7 分压 PCB 板

1.7.1 接线定义

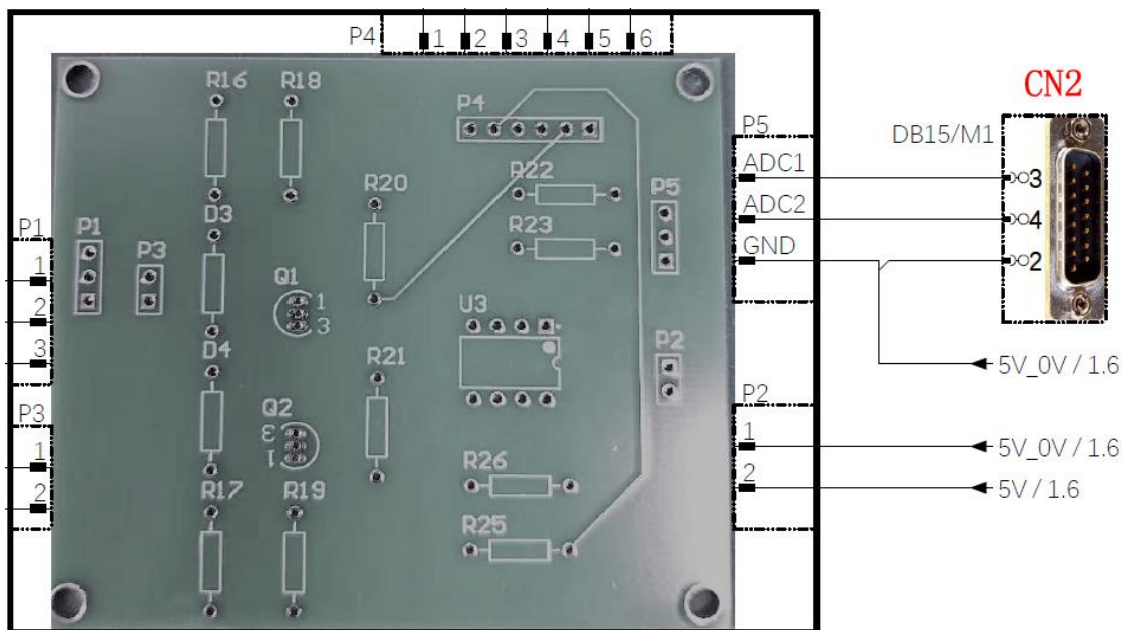


图 1-14 分压 PCB 板接线定义

1.7.2 简介

系统中的分压 PCB 板主要起到一个功率放大的作用，而功率放大电路是一种以输出较大功率为目的的放大电路。它一般直接驱动负载，带载能力要强。功率放大电路通常作为多级放大电路的输出级。在很多电子设备中，要求放大电路的输出级能够带动某种负载，例如驱动仪表使指针偏转、驱动扬声器使之发声或驱动自动控制系统中的执行机构等。总之，要求放大电路有足够大的输出功率。这样的放大电路统称为功率放大电路。分压 PCB 板电路如图 1-15 所示。

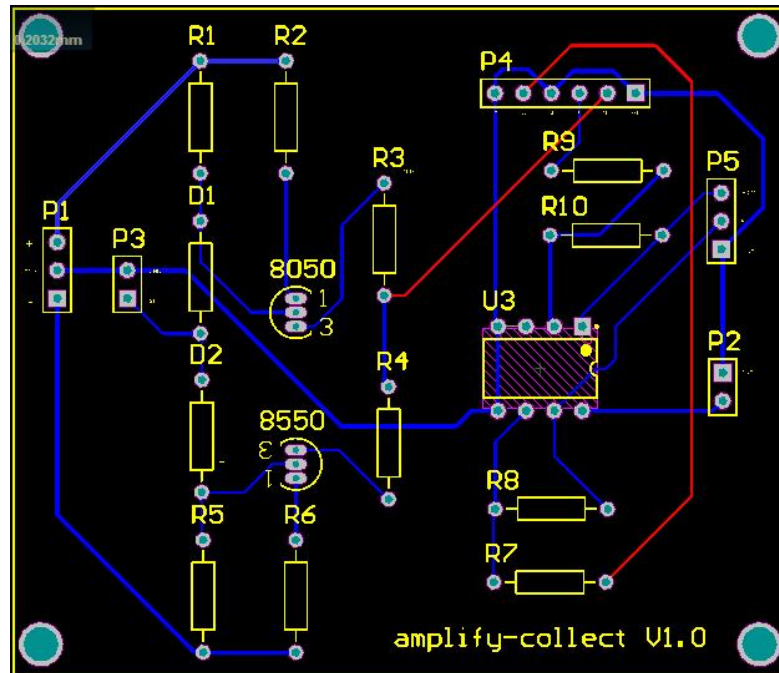


图 1-15 分压 PCB 板电路图

附录 2 实验设计参考

Paradox collector qep -- PC software

- How to run this demo:
1. Connect the Hardware co
 2. Build all the demo.
 3. Start real-time code

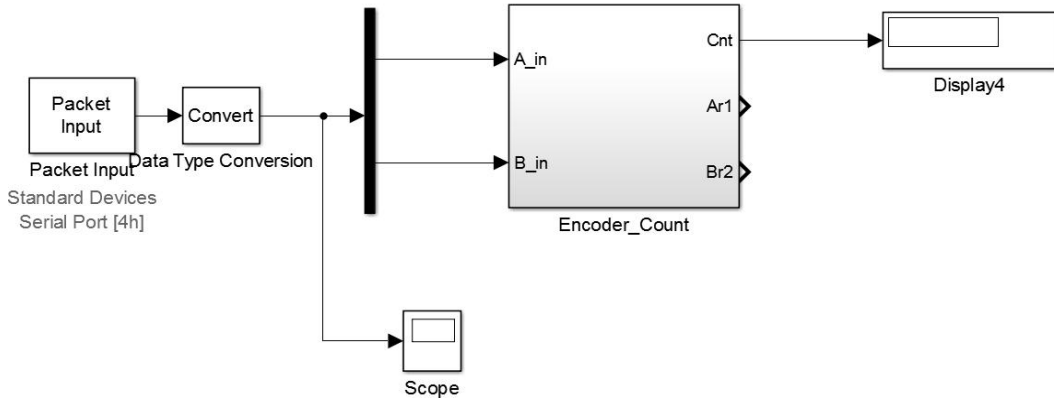


图 2-1 上位机程序

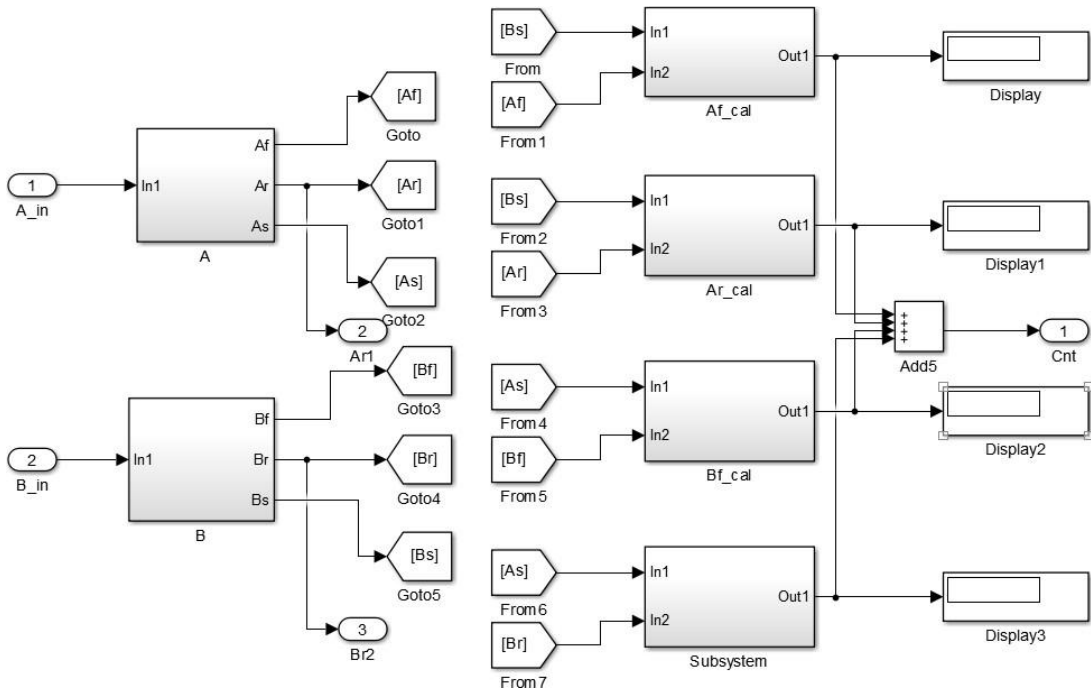


图 2-2 脉冲计数模块

在图 2-2 中，“A”，“B”模块分别是用来判断当前 AB 相信号的上升沿和下降沿及对应的方向。其中，“Af”为 A 相上升沿，“Ar”为 A 相下降沿，“As”为 A 当前时刻 A 相的电平值，即高电平或者低电平。“Af_cal”，“Ar_cal”，“Bf_cal”，“Br_cal”四个模块分别用来计算当前时刻下，当编码器正反转时的脉冲个数，累加起来就等于整个行程中形成的脉冲个数。

附录 A 上位机实时内核设置

1. 打开 Matlab, 在 PMSM 文件夹中打开 speed_control 程序, 在设置中选择如图 A-1 所示设置;

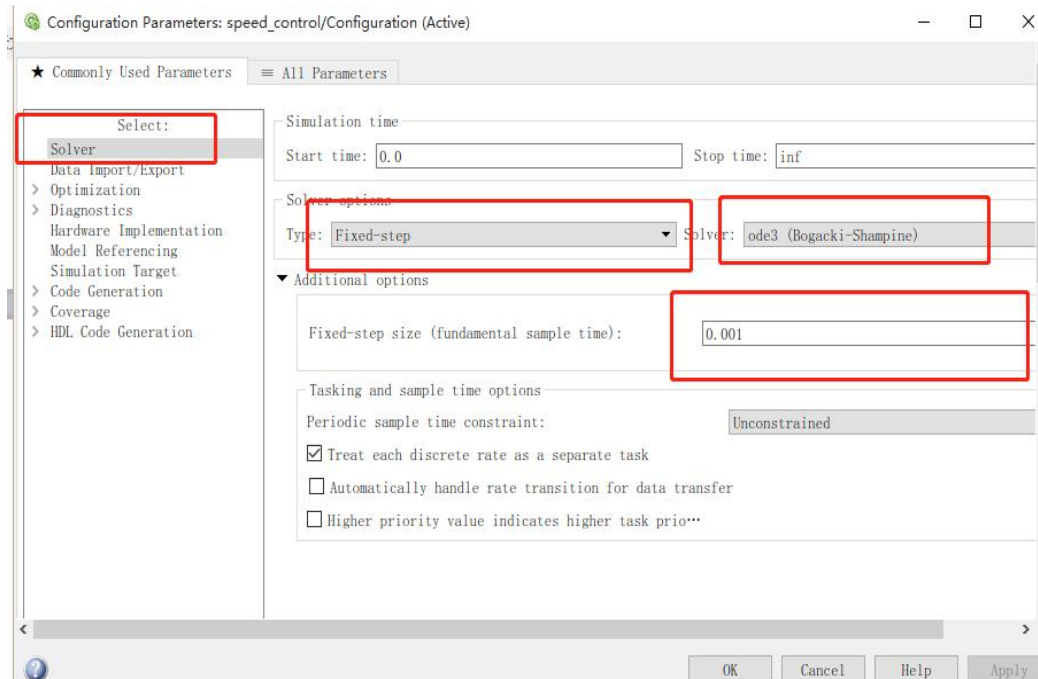


图 A-1 求解器设置

2. 在 Code Generation 选项中选择上位机实时内核仿真模式, 如图 A-2 所示;

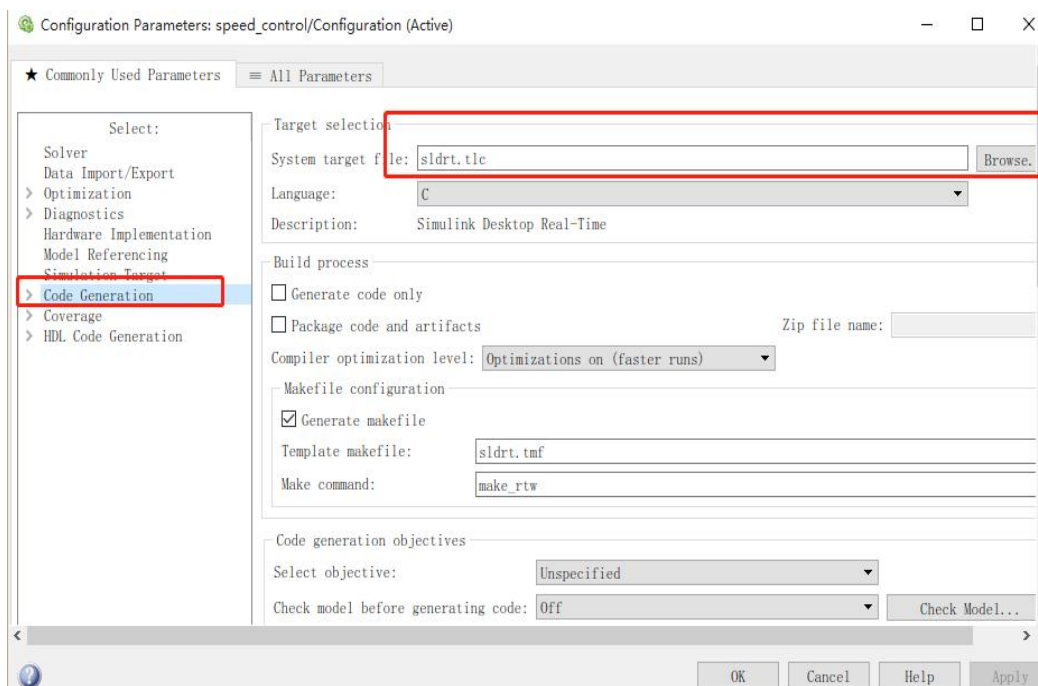


图 A-2 实时内核设置

3. 双击 Packet Input 模块, 点击 install new board 选项, 新建实验设备与上位

机连接的 USB 对应的 COM 口，如图 A-3 所示；

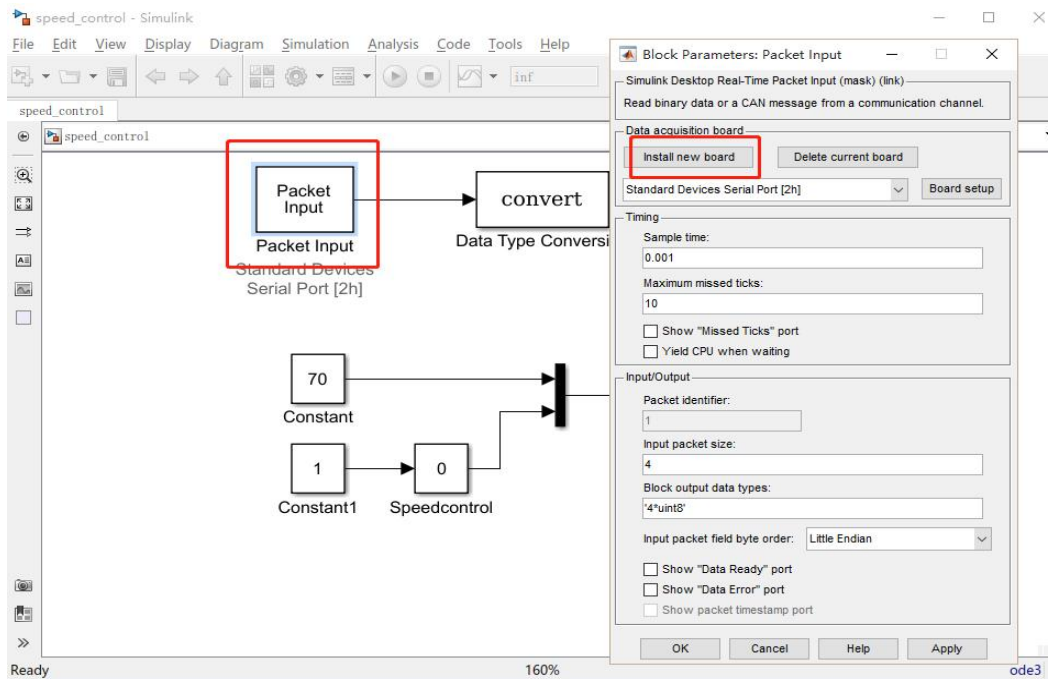


图 A-3 串口设置界面

4. 选择 Serial Port，如图 A-4 所示；

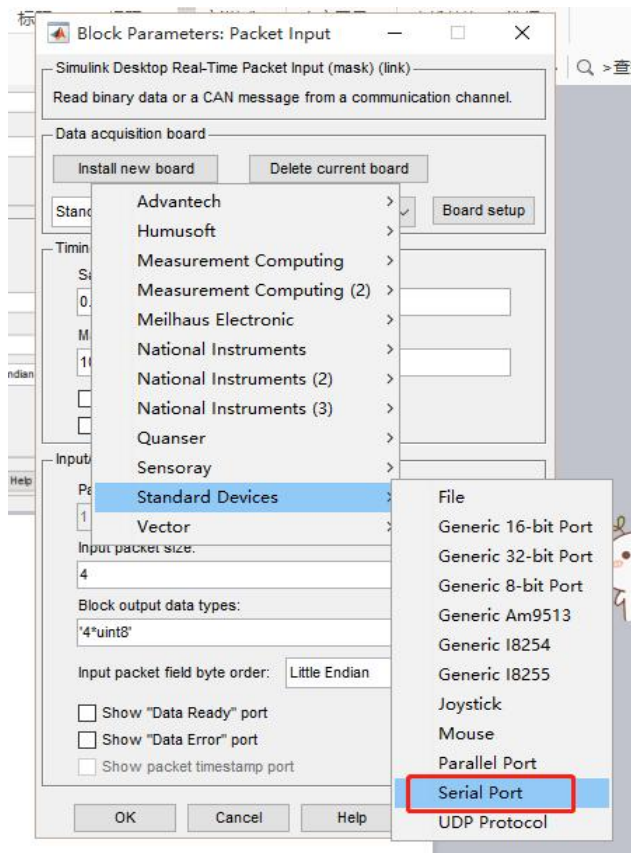


图 A-4 选择串口

5. 选择 Other 选项，在红框里填入，电箱和电脑连接的 USB 对应的 COM 口，

点击确定，如图 A-5 所示；

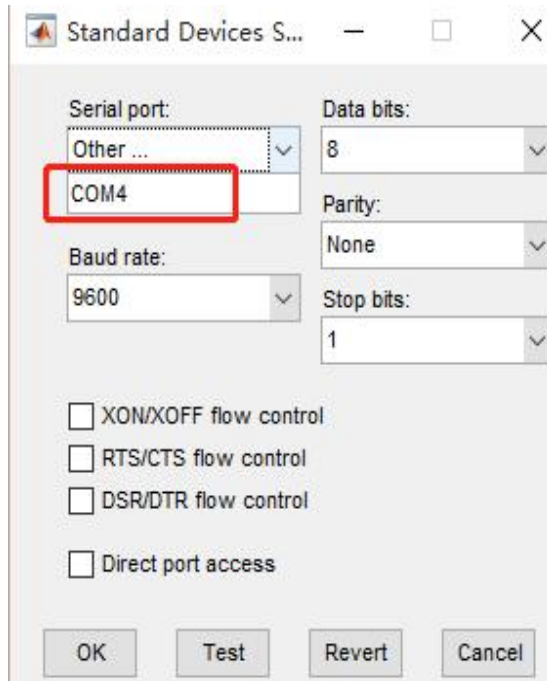


图 A-5 更改串口

6. 在红框里选择上一步新建的端口，点击其右侧 Board setup 按钮，选择对应 COM 口，设置波特率为 115200。按蓝框配置，如图 A-6 所示；

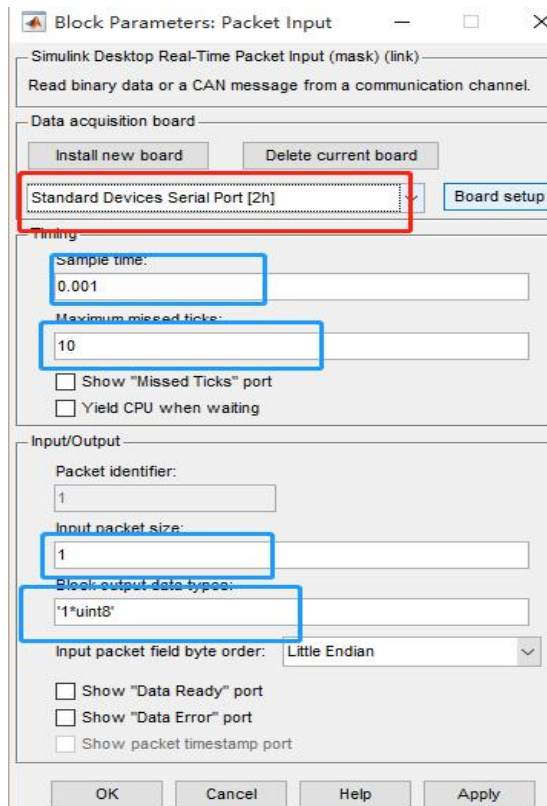


图 A-6 选择串口

7. 双击 Packet output 模块，选择 COM 口，选择波特率，同输入设置相同，

如下图 A-7 所示设置。

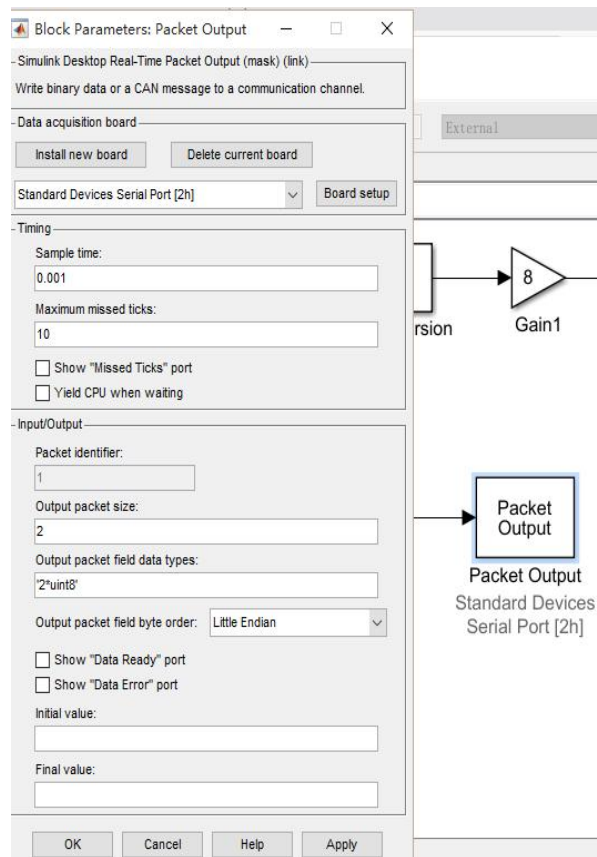


图 A-7 输出设置