



利用智能传感方法奖

基于 PIC24F 旋变解调的机电控制系统

注册编号: MCHP16bitCDC0371

参赛队员: 商宏钟

1 项目意义

旋转变压器是一种利用电磁感应原理进行角度测量的元件,它可以实现高精度的角度测量(精度在 0.01° 以上),它具有性价比高的优点,与同精度的光电码盘相比成本要差几千人民币以上,同其精度远超角度电位计,此外还具有抗污性好,抗冲击强,寿命高等优点。

旋转变压器是一种机电元件,它需通过接口运算电路来实现角度信息解算,也就是我们常说的RDC(旋变/数字转换器)。专门的模块解调模块(如ADI公司的AD2S83, AD2S90)应用比较成熟,但存在外围电路复杂,成本高的缺点(单片模块价格在600-800元),在一些对价格敏感的场所无法应用。一般的MCU对于旋变解调能力较差,主要是由于硬件接口及运算速度的原因,无法实现高精度的角度测量(一般很难超过1度的精度),且当旋变运行速度较快时由于运算速度慢,其测量情况更差。

本项目根据 PIC24F 的特点,实现了一种低成本高精度的旋变解调方案,这对于低成本高精度的旋转机电系统提供了一个很好的参考。

2 Microchip 芯片特点和分析介绍 PIC24FJ64GA002-I/SP

PIC[®]单片机系列采用了“总线哈佛结构”,可以实现指令提取的流水作业,在执行一条指令的同时对下一条指令进行取指操作,可以实现大部分指令的单字节化、单周期化,从而有利于提高 CPU 执行指令的速度。PIC24F 单片机一个 16 位的单片机(如图 1),片内有 17×17 的乘法器实现了单周期的硬件乘法,所以它具有了 DSP 的性能,片内还有 32 位/16 位硬件除法器,可以实现单周期的除法,这样可以满足一些信号处理的要求,它的运行主频可到 16M, 16 位 x16 位工作寄存器阵列,线性程序存储器寻址最多 12 MB,线性数据存储器寻址最多 64 KB,两个地址发生单元可分别对数据存储器执行读和写寻址。工作电压范围为 2.0V 到 3.6V,闪存程序存储器的耐擦/写次数达 1000 次(典型值),软件控制下可自行再编程,这样可以实现一些数据的采集存储及系统的自修正。可选的功耗管理模式:休眠模式、空闲模式和备用时钟模式。单片机能执行故障保护时钟监视器工作,一旦检测到时钟故障,将时钟源切换到片内低功耗 RC 振荡器。片内还有低压差稳压器,保证系统运行稳定。单片机还可以实现上电复位、上电延时定时和振荡器起振定时器,

这样大大简化了外围电路。灵活的可编程看门狗和片上低功耗 RC 振荡器可保证器件可靠工作。

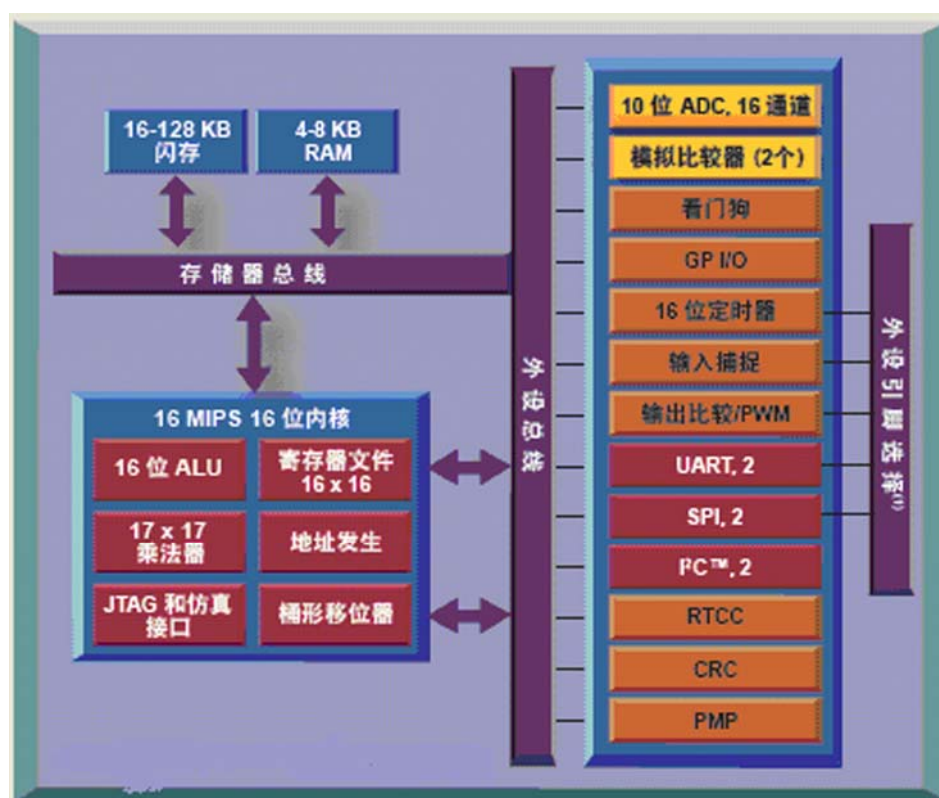


图 1 PIC24 框图

单片机具有丰富的外设，大大简化了外围电路，减小了开发难度和周期，提高了执行速度和可靠性。外设包括：10 位多路通道的模数转换器(500 ksps)；2 个具有可编程输入/输出配置的模拟比较器；两个3 线/4 线SPI 模块；两个支持多主/从动模式和7 位/10 位寻址的I2C模块，两个UART 模块（支持RS-232、RS-485 和LIN 1.2，利用片上硬件编码解码器支持IrDA，起始位自动唤醒，自动波特率检测，4级FIFO 缓冲器；并行主/从端口（PMP/PSP），支持8 位或16 位数据，支持16 条地址线；硬件实时时钟/日历，提供时钟、日历和闹钟功能。5 个带可编程预分频器的16 位定时器/计数器，5 个16 位捕捉输入，5 个16 位比较/PWM 输出，某些I/O 引脚上的最高灌/拉电流为18 mA/18 mA，数字I/O 引脚可配置为漏极开路输出，5 个外部中断源。单片机还支持外设引脚选择（PPS）功能，可由用户来决定外设到引脚的映射关系。

值得一提的是PIC24F单片机的程序可以很快的移植到PIC24H上，实现更高性能的配置，这样有助于减少产品开发人员的时间和 Learning 成本。Microchip的MPLAB IDE是简单而统一的图形化用户界面，众多PIC单片机均可使用此开发环境，这样有利于用户实现产品的快速移植和升级。

3 项目的设计思路

本项目利用旋变测角的精确性，与一台直流力矩电机构成一个高稳速回路系统，利用这个系统可做成一个稳定转台，可以用来校准陀螺和加速度计之类的传感器。陀螺及加速度计之类的产品对转台瞬时速率都有灵敏的响应，如果转台不稳就会表现出产品的噪声输出，因此控制回路不但要求高精度的测角还需高精度的速度控制。在以前使用的转台系统中是由光电码盘做为测角元件的，价格较高，导致整个转台价格偏高。为了精确校准，有些产品校准需在一个温变的系统环境中进行，测试占机时间长，厂家批产必需对每个产品进行校准测试，需要大量的稳定转台，因此低价格的稳定转台具有很好的应用价值。

本设计以PIC24 FJ64GA002-I/SP为核心进行系统开发。系统框图如图2所示，系统上电后，单片机给激磁提供基准方波信号，经过调理滤波放大整成400HZ（幅值为10V）的激磁信号，旋变感应输出正余弦信号 $U_{sin}w_{tsin}$ （ $U_{sin}w_{tcos}\phi$ ），经过信号调理电路降压，相敏整流及滤波处理，输出解调后的正余弦信号 E_{sin} （ $E_{cos}\phi$ ）到单片机AD进行运算。单片机另一路PWM去控制电机运行。电机运行速度值由PC机经由串口设定，同时单片机也可以转速反馈给上位机系统。系统主要实现功能：

- 1) 测角：量程 0—360 度；测角分辨率 0.03 度；最高转速 250 度/秒；
- 2) 电机控制：对直流电机进行 PWM 控制，转速为 90—200 度/秒时，瞬时速率偏差 0.1 度/S；
- 3) 与上位机实现 RS232 通讯，可以在 PC 控制下对下位机进行速度设定，同时下位机实时将角度及速度信息实时传回 PC 机。

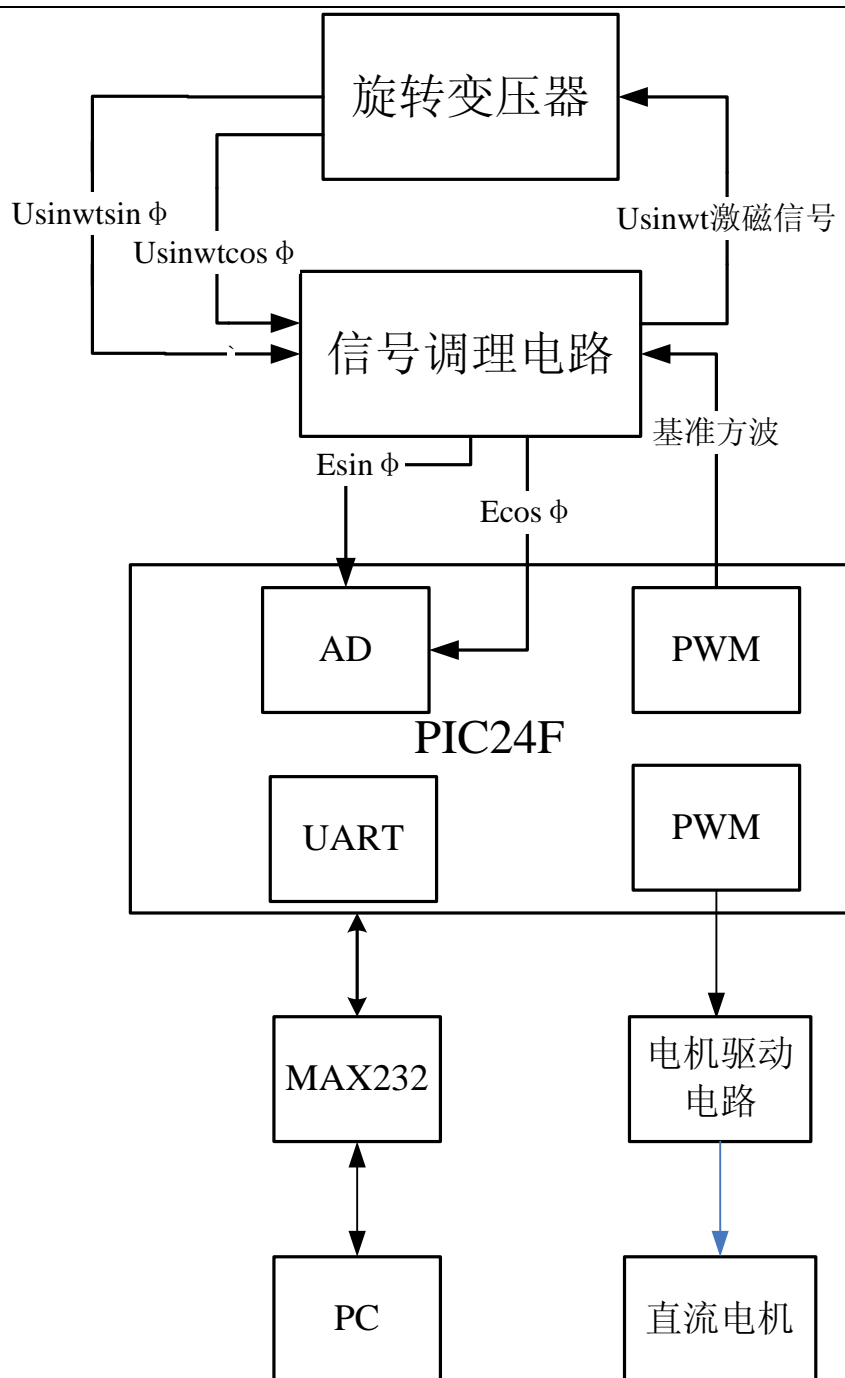


图 2 系统框图

1) 旋变激磁和解调外围电路

旋变额定工作频率为400HZ，系统通过PWM设置输出占空比为50%，周期为2.5ms的方波信号。设计了一种RC网络电路来产生采集旋转变压器的激磁信号，其原理图如图2所示。

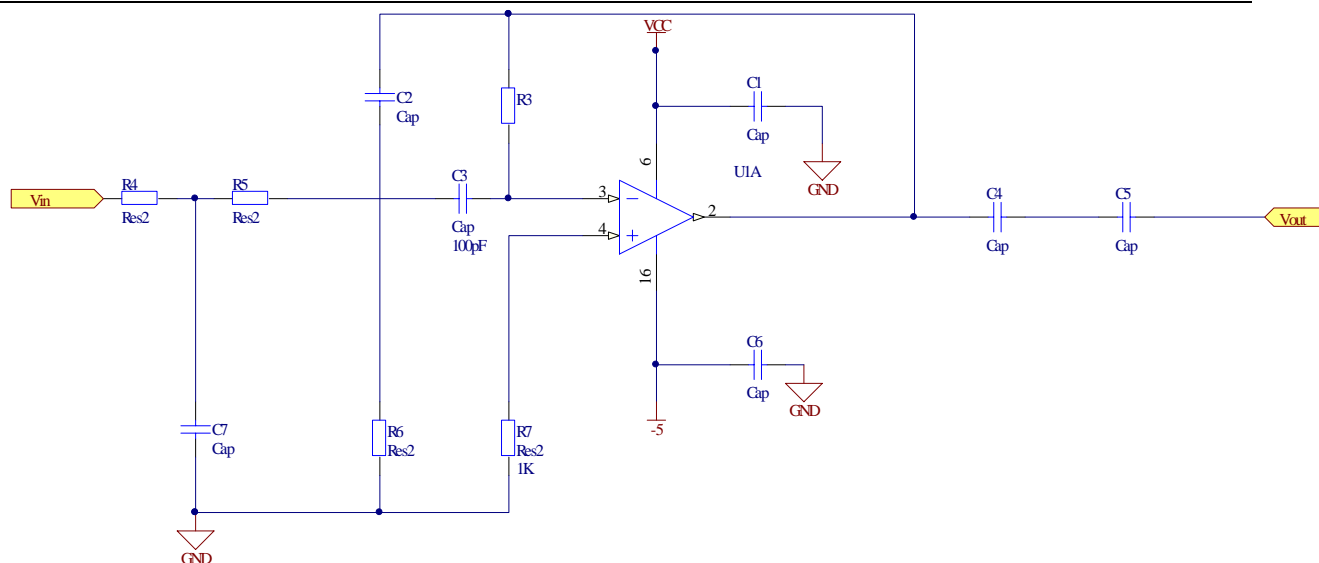


图 3 激磁信号产生原理图

信号调理电路对感应输出信号进行降压处理，电路包含相敏整流电路，使用一个运放和通用模拟开关。

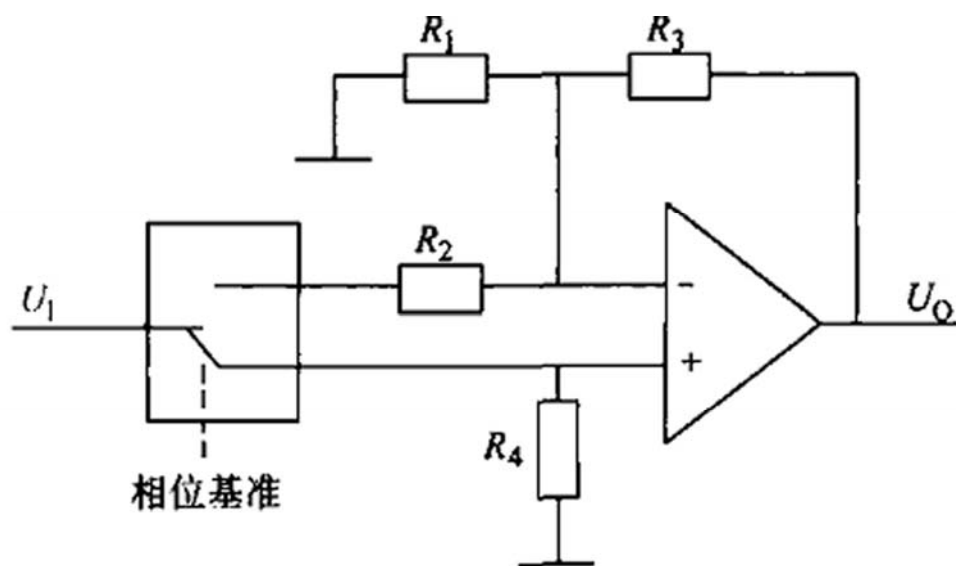


图 4 相敏整流

信号还需进行滤波处理，这里使用了 RC 滤波使得 400HZ 调制波形归为常量，信号变为一个与正余弦成正比的信号 $E\sin\phi$ 和 $E\cos\phi$ ，由于单片机 AD 不能接收负电压，所以还需进行电压抬高。

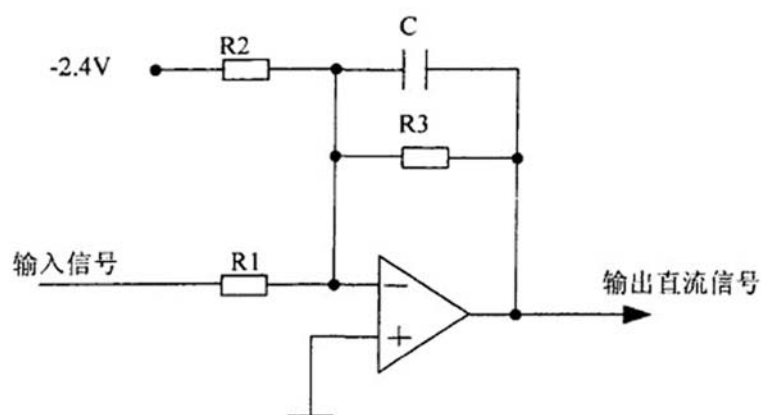


图 5 滤波及偏置

2) AD 采样及计算

单片机利用AD快速扫描采集信号 $E\sin\phi$ 和 $E\cos\phi$ ，然后利用除法指令进行除运算求出 $\tan\phi$ ，单片机的存储区存有反正切表，单片机可以快速查表求出相应的角度值。

PIC24F支持自动AD采集（Automatic sampling timing），采样后转换自动完成，无需单片机在中间等待，使整个过程中速度相当快，满足了所以系统快速的要求。

AD设置代码：

```
void initADC( int ad)
```

```
{
```

```
AD1PCFG = ad; // 选择通道ad
```

```
AD1CON1 = 0x00E0; // 采样后自动完成转换
```

```
AD1CON2 = 0; // 使用 MUXA, AVss 和 AVdd 做为参考电压
```

```
AD1CON3 = 0x1F02; //采样时间为 32 个 Tad (125ns)
```

```
AD1CON1bits.ADON = 1; // 打开 ADC
```

```
}
```

AD读取代码：

```
int readADC( int ch)
```

```
{
```

```
AD1CHS = ch; // 选择通道ch
```

```
AD1CON1bits.SAMP = 1; // 开始采集
```

```
while (!AD1CON1bits.DONE); // 等待ADC完成
```

```
return ADC1BUF0; // 读取AD值返回
```

}

PIC24F支持单周期的除法指令,具有16位/16位有符号和无符号整数除法运算功能,这是通过单一指令迭代除法实现的。

由于种种原因,单片机计算值会与实际有偏差,由于存储区为Flash支持在线改写,这样可以通过PC机利用串口对单片机角度测算进行逐点校正,具体方法是:将所选旋转变压器安装在精度较高的轴角给定装置上,并将其引出端通过导线与测量电路连接好,然后调整旋转变压器在轴角给定装置上的安装角度,使测量电路的输出角度为0。将旋转变压器与轴角给定装置锁紧,转动轴角给定装置,测出每隔1°的实际转角。将标准转角和实际转角以表格的形式存入单片机,这样,单片机每测量出一个转角后,通过该表进行线性插值,便可较准确地得到旋转变压器的真实角度,从而提高了旋转变压器的测量精度,而校正参数表可以存入单片机中,并可以在以后进行周期校准时再改写。在实际测试中,校准前偏差量在0.05度左右,校准后在0.02度左右。

电机控制

为了可靠性电机驱动电路借用了成熟的模块设计,这里不做专门阐述。电机控制采用PWM,采用PID控制算法。我们设计了PID调节子程序,它可以计算下一个PWM占空比,

$$U = k_p e + k_i \int e dt + k_d \frac{de}{dt}$$

PID的系数 k_p , k_i 和 k_d 均存为16位。PID的比例项可以反应即时的系统偏差,积分项可以减小稳态误差,引入微分项可以减小系统超调幅值及时间。在程序中,三项相加后的结果放在32位的ypid中,ypid的高16位用来设定占空比,PWM是一个10位的控制方式,我们通过ypid的高16位来检测是否超出+511—512的范围。当超出这个范围后说明占空比超过了极限,饱和位(stat.saturated)置高。

PID调节计算及PWM占空比设置代码:

```
void PID(void)
{
ypid.l = (long)u0.i[0]*(long)kp; // 计算比例项
if(!stat.saturated) // 如果没有饱和
integral += u0.i[0];
if(ki) // 如果积分项不为0
ypid.l += (long)integral*(long)ki; //计算积分项
```



```
if(kd) // 如果微分项不为0
ypid.l += (long)mvelocity*(long)kd; //计算微分项
if(ypid.b[3] & 0x80) // 如果PID为负
{
if((ypid.b[3] < 0xff) || !(ypid.b[2] & 0x80))
{
ypid.ui[1] = 0xff80;
ypid.ui[0] = 0x0000;
}
else;
}
else // 如果PID为正
{
if(ypid.b[3] || (ypid.b[2] > 0x7f))
{
ypid.ui[1] = 0x007f;
ypid.ui[0] = 0xffff;
}
else;
}
ypid.b[0] = ypid.b[1]; // 将结果左移
ypid.b[1] = ypid.b[2];
stat.saturated = 0; //清空饱和标志
if(ypid.i[0] > 500) // 如果输出占空比超过限制
{
ypid.i[0] = 500;
stat.saturated = 1;
}
if(ypid.i[0] < -500)
{
ypid.i[0] = -500;
stat.saturated = 1;
}
```

```
}  
ypid.i[0] += 512; // 增加占空比Add offset to get positive  
ypid.i[0] <<= 6; // 左移得到高8位  
CCPR1L = ypid.b[1]; // 将高位写到CCP设定占空比  
if(ypid.b[0] & 0x80) CCP1X = 1; //将占空比的低两位写入CCP1CON  
else CCP1X = 0;  
if(ypid.b[0] & 0x40) CCP1Y = 1;  
else CCP1Y = 0;  
TMR2IF = 0; // Clear Timer2 Interrupt Flag.  
SPULSE = 0;  
}
```

串口通讯

由于片内有UART，串口通讯的实现也较简单。通过简单设置就可完成。

设置代码：

```
U1BRG= ((4000000/9600)/16) - 1 = 25; //设置波特率为9600  
IPC3bits.U1TXIP2 = 1; //发送中断优先设置  
IPC3bits.U1TXIP1 = 0;  
IPC3bits.U1TXIP0 = 0;  
IPC2bits.U1RXIP2 = 1; //接收中断优先设置  
IPC2bits.U1RXIP1 = 0;  
IPC2bits.U1RXIP0 = 0;  
U1STA = 0;  
U1MODE = 0x8000; //数据格式：8位，无奇偶校正，1个停止位。  
U1STAbits.UTXEN = 1; //发送允许  
IEC0bits.U1TXIE = 1; //允许发送中断  
IEC0bits.U1RXIE = 1; //允许接收中断
```

上位机我们借用了Labview来完成，主要是开发校准系统和转速控制上位机系统。

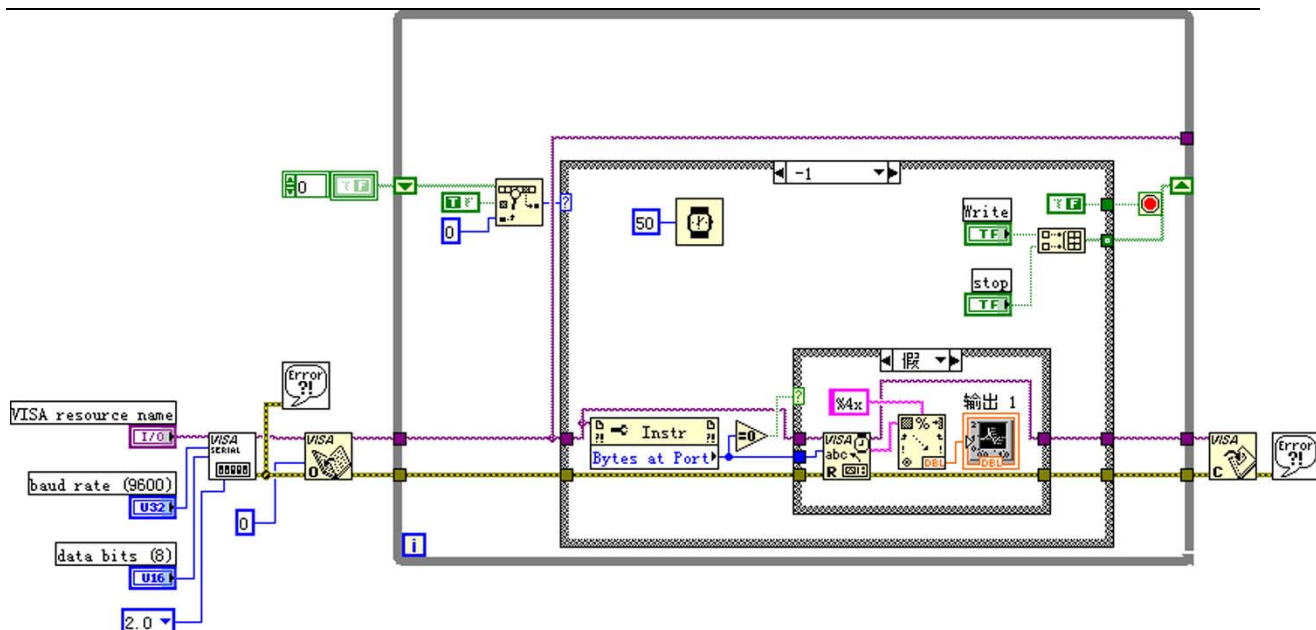


图 6 串口程序框图

我们选了一个标准的陀螺来对转台进行校验，观测两个传感器速度输出，精度达到 0.1 度/秒的要求，观测其峰值（也就是瞬时速率的偏差）在 0.06 度/秒左右（这还包括了陀螺本身的低噪），在 200 度/秒时，小于 0.1 度/秒，整个测试结果看，速度越快瞬时速率偏差加大，但变化不明显，我们认为系统升级到 PIC24H 应可以进一步提高性能。

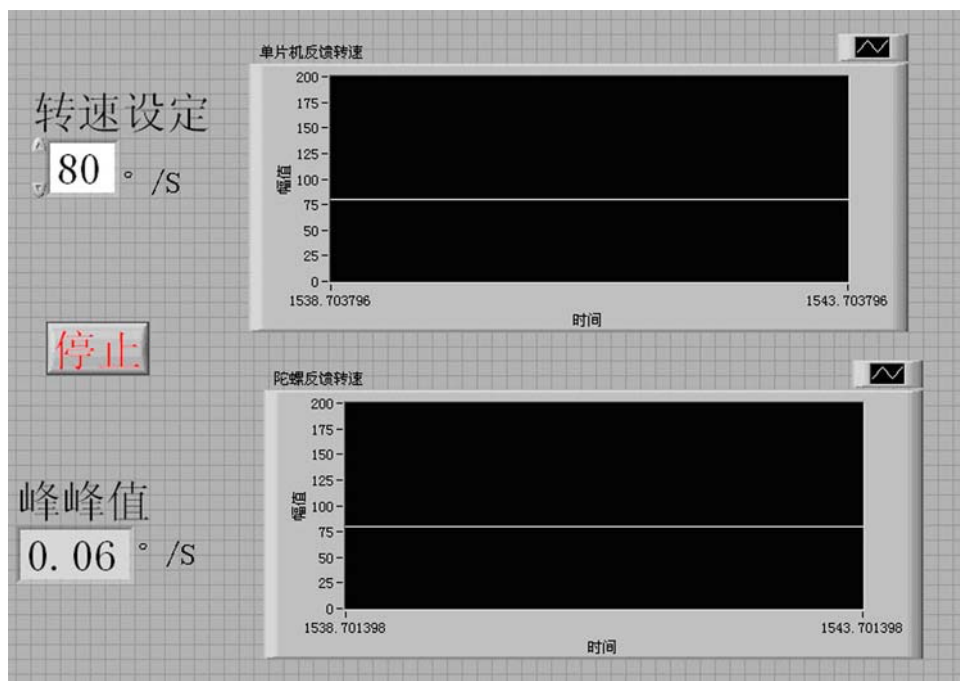


图 7 部分测试界面

4 结论

通过这个项目，我们对基于 PIC24F 的旋变解调技术有了全面的掌握，对 PIC24F 丰富的外设及快速的除法运行有了很好的了解。这个项目的最终测试中我们还发现一些问题不足（比如旋变粗精解调技术精度不够，转速过快时角度偏差较大），初步认为是 AD 采集速度及运行速度不够快所致。我们在接下来的实验中将采用 PIC24H 高性能单片机来进行开发试验，应该能取得更好的效果。

在本次项目中，我们都在很短的时间内熟练的掌握了 PIC 的开发技巧，这一切有赖于 Microchip 优秀的开发软件和工具以及代理商（贝能科技有限公司）的大力帮助，在此表示深深的感谢。我们认为与其它单片机相比 PIC24F 拥有强大的运算功能，灵活的外设，完整的产品线，且上手也较容易，但是我们也注意到一些开发资料及应用笔记并不是很好用，市面上的参考书也较为老旧，希望 Microchip 公司能在推广上再下力气，我们深信将会有越来越多国内用户喜欢上 PIC 单片机。