

文章编号:1004-9037(2009)增刊-0241-04

基于MSP430单片机的高精度测频模块设计

贺 虎 王万顺 田冬成 孙建会 熊成林

(中国水利水电科学研究院工程安全监测中心,北京,100038)

摘要:提出了基于该单片机的测频原理和方法,并用C语言编程实现,详细阐释了相关硬件寄存器的设置技巧。融合计时与计频两种方法,使该程序能在高频段和低频段均有较高的测量精度。通过数据比测,验证了该方法的正确性。该测频模块具有成本低、精度高、可靠性好及便于集成等优点。

关键词:频率测量;高精度;捕获;MSP430

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

High Precision Frequency Measuring Module Based on MSP430

He Hu, Wang Wanshun, Tian Dongcheng, Sun Jianhui, Xiong Chenlin

(Engineering Safety Monitoring Center, China Water Conservancy &
Hydroelectricity Science Academe, Beijing, 100038, China)

Abstract: The capture module on MSP430 MCU's internal 16 bit timer, with its counting and timing function is used. The frequency is accurately measured without exterior components. This paper introduces the frequency measurement principle and the corresponding C language procedure. The combination of two methods for measuring cycle and frequency enables that the procedure has a high measuring accuracy in the high frequency band and the low frequency band. Through the actual survey comparison, the method is confirmed to be accurate.

Key words: frequency measuring; high precision; capture; MSP430

引 言

频率测量技术在工业控制领域应用相当广泛。由于频率信号在传输过程中可以忽略电缆的电阻、电感及电容等因素的影响,具有抗干扰能力强、易于长距离传输的优点,所以越来越多的传感器设计成为以频率为输出信号。如:涡街流量计使用的检测探头是以石英晶体谐振器作为敏感元件的谐振式传感器,输出与流速成正比的涡街频率信号;广泛用于水库大坝、桥梁、基坑等工程的应力应变、变形、渗流、液位、温度等因量监测的振弦式传感器,通过检测振弦的固有频率来分析工程、建筑内部的应力;还有很多非振荡式传感器,如电阻式、电容式传感器也将其输出信号变换为频率信号^[1],方便与数字系统接口。涡街流量传感器在可测流量段内的输出频率大体分布在2~3 000 Hz范围内,振弦式

传感器的固有振荡频率范围为400~4 500 Hz,其他频率输出型传感器的频率上限也都在5 000 Hz以下,但他们都要求测频精度达到0.2%,这就对测频系统提出了很高的要求。本文利用MSP430单片机片内定时器的捕获模块和定时功能,提出一种不需要其他外围电路的单芯片测频方法,并给出了相应的程序。该方法在5 000 Hz频率范围内,无论低频还是高频,均可达到高于0.02%的测量精度,在工程应用上取得了良好的效果。

1 MSP430单片机的测频原理与嵌入式C程序实现

频率,就是单位时间内信号周期变化的次数。如果以1 s为一个时间单位,那么测出此期间的脉冲个数,便是频率。但是仔细想想,这样得出的频率只能精确到1 Hz,因为1 s内不会只有整数个周期完整的脉冲,这样做,在频率较低的情况下测量精

度是很差的。但是,把这个时间单位放大,换成 10 s,100 s 或是 1 000 s,这样测出的频率是不是精度就会提高很多。换一种方法,测出一个脉冲到来时的时间和结束时的时间,二者之差即信号的周期,取倒数便是要求的频率。但是如果待测频率很高,每个脉冲的周期非常短,这就需要精度很高的计时器来测量这微小的时间差,所以用这种方法测高频往往难以满足精度要求。但是测 10 个,100 个或是 1 000 个脉冲的周期是不是就会容易一些,精确一些。以上两种方法就是常用的计频法和计时法,它们在实际应用中都有自身的适用性,难以保证在整个被测频段的测量精度。

本文采用了计时、计频相结合的方法对频率信号进行采集。如图 1 所示,既要计频,设定时间阈值,并对该时间段内的脉冲进行计数,记为 N ;又要计时,精确测量 N 个脉冲所用的时间,记为 T 。计时计频法频率测量所遵循的公式为

$$F = \frac{N}{T}$$

其中: F 为频率; N 为时间阈值内传感器输出的脉冲数; T 为 N 个脉冲所用的时间。

所以测准频率的关键是准确测出在某时间阈值内脉冲个数 N 和 N 个脉冲的确切时间。MSP430F149 单片机 TimerA 的捕获功能正好为此所用。当 CAP=1 时定时器的捕获功能被选择。捕获主要用来记录和时间密切相关的事件,启动测频后,捕获模块会在时间阈值内捕捉每个脉冲的上升沿或下降沿,并自动地把 16 位计数器 TAR 的值拷贝到 TACCRx 寄存器供程序使用。将时间阈值内最后一个上升沿捕获的 TAR 值和第一个上升沿时捕获的 TAR 值做差,便可得到 N 个脉冲的周期。TimerA 有 3 个捕获/比较模块,本例选用 TACCR0。TimerA 的 3 个捕获模块输入为 CCIxA,分别与外部管脚 P1.1/TA0,P1.2/TA1 和 P1.3/TA2 相对应,由于使用了 TACCR0,故将单片机管脚 P1.1/TA0

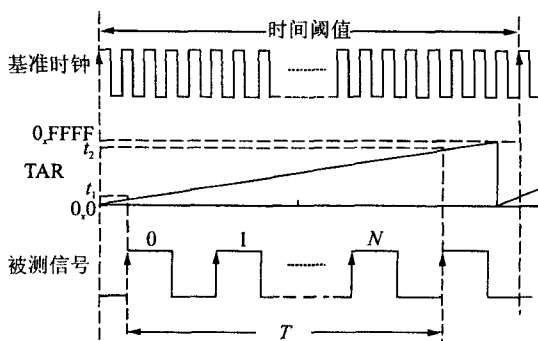


图 1 MSP430 单片机测频原理图

作为频率信号的输入口。TACCR0 的控制寄存器为 TACCTL0,可以软件初始化其为捕获功能;CMx 位设置捕获发生条件,是上升沿捕获还是下降沿捕获,或是双沿捕获。使定时器工作在连续计数模式,16 位计数器 TAR 从 0 计到 0xFFFF,然后清 0 重新计数,一直重复^[2]。为降低功耗,只启用低速钟晶体,即辅助系统时钟 ACLK=32 768 Hz,选择 ACLK 为 TimerA 的时钟源,完全可以满足 5 000 Hz 以下频率范围内的测量精度。对各寄存器做如下配置:

```
P1DIR &= ~BIT1; //设置 P1.1 为输入
```

```
P1SEL |= BIT1; //P1.1 给外设 TA0 使用
```

```
//上升沿捕获+CCI0A (P1.1)+捕获模式+
中断使能
```

```
TACCTL0=CM_1+SCS+CCIS_0+CAP+
CCIE;
```

```
//时钟源 ACLK+连续计数模式+TAIFG 中
断请求使能
```

```
TACTL=TASSEL_1+MC_2+TAIE
```

程序设置一个最小时间阈值为 2 s,通过定时器定时中断产生。每隔 2 s 统计一次脉冲个数和这些脉冲的周期。16 位定时器 TimerA 有两个中断向量可供使用,TACCR0 CCIFG 使用 TACCR0 中断向量;所有其他 CCIFG 标志和 TAIFG 使用 TAIV 中断向量。

TACCR0 CCIFG 的中断服务程序如下:

```
#pragma vector=TIMERAO_VECTOR
```

```
_interrupt void TimerA0_ISR(void)
```

```
{
```

```
if(Cap_Tar==0){
```

```
//捕获时间阈值内第一个上升沿的
TAR
```

```
cap_first=TACCR0;
```

```
Cap_Tar++;
```

```
}
```

```
else {
```

```
cap_last=TACCR0;
```

```
Cap_Tar++;
```

```
}
```

```
}
```

一旦捕获事件发生,进入该中断服务程序,全局变量 Cap_Tar 记录捕获的脉冲个数。每个上升沿到来,定时器的计数值可以读寄存器 TACCR0 得到,第一个上升沿发生的时间保存在变量 cap_first 中,其后到来的每个上升沿发生的时间保存

在变量cap_last中,并不断更新,直到时间阈值到。定时器从0计到最大值65 535会使TAIFG置位,从而产生中断请求。定时器的时钟源频率为32 768 Hz,即16位计数器TAR每增加一个计数值,所用时间为 $1/32\ 768\text{ s}$,所以每次定时器产生溢出中断的时间间隔为 $65\ 536 \times (1/32\ 768) = 2\text{ s}$,正好作为时间阈值。TAIFG的中断服务程序如下:

```
#pragma vector=TIMER_A1_VECTOR
__interrupt void TimerA1_ISR(void)
{
    switch(TAIV){
        case 2: break;
        case 4: break;
        case 10: {
            if(Cap_Tar==0)
                pulse=0; //①
            else {
                pulse=Cap_Tar-1; //②
            }
            time=cap_last-cap_first;//③
            Cap_Tar=0; //④
            flag |=GetFr; //⑤
            BIC_SR_IRQ(LPM3_bits);//⑥
        }
        break;
    }
}
```

每隔2 s,产生一次定时器溢出中断。在中断服务程序中,要计算出捕获到的完整脉冲个数,用变量pulse表示,它等于捕获的上升沿个数(Cap_Tar)减1^②。如果当前没有频率信号输入,Cap_Tar为0,此时pulse直接赋值为0,Cap_Tar减1会出现负值^①。那么pulse个脉冲所用的时间等同于定时器16位计数器TAR从cap_first增加到cap_last所用的时间,用变量time表示^③。然后将Cap_Tar清0,通知TACCR0 CCIFG的中断服务程序开始新一轮采集^④。这样计算频率所需要N和T都有了, $N=pulse, T=(1/32\ 768) \times time$,则频率为

$$F = \frac{N}{T} = \frac{pulse}{\frac{1}{32\ 768} \times time}$$

由于计算频率用到了乘法和浮点运算,故不在中断中求算频率,而是置位相应标志^⑤,并将CPU从低功耗模式3唤醒^⑥,在主程序中完成耗时的乘法和浮点运算。

2 测量精度的影响因素与数据比测

该测频模块可以对10 kHz以下的标准频率信

号进行准确测量。但是,测量准确度还受其他两方面因素影响:

(1)输入信号的品质:MSP430单片机捕获模块的输入门限电压为1.5~1.9 V(当VCC=3.3 V时),故可测的频率信号是幅值大于2.0 V_{p-p}的方波或正弦波信号。如果信号幅值较小,则需要前置放大器将信号放大至捕获模块可识别的电平范围;输入频率信号如果携带噪声,前置放大后应有低通和高通滤波环节,并使用施密特整形器将上升沿和下降沿的毛刺滤除。

(2)单片机的驱动时钟频率和准确度。如图1所示,系统时钟频率越高,基准频率越高,当发生捕获事件时,越近似同步,得到的T值也越准确;由频率导算公式可知,定时器的时钟源频率即单片机的驱动时钟频率,它是作为常数参与计算的,所以外置时钟的准确度也对测量精度产生影响。在要求更高的测量精度时,可用标准频率计来校正时钟频率,以使之达到标称频率。而对于一般的工程测试则无需对其进行调整^[3]。

使用南京电讯仪器厂生产的EE1642B型函数信号发生器(10 V_{p-p} max,0.2 Hz~10 MHz)做频率发生器,使用自制的频率计对频率信号进行测量,得到如下数据(表1)。

表1 频率比测数据

序号	信号发生器频率/Hz	测频模块/Hz	相对误差/%
1	0.599	0.598 9	-0.02
2	1.910 7	1.910 8	0.01
3	6.611 3	6.611 2	0.00
4	14.376	14.374	-0.01
5	81.9	81.893	-0.01
6	150.8	150.82	0.01
7	757.5	757.49	0.00
8	1 395.3	1 395.3	0.00
9	2 025	2 025	0.00
10	2 952	2 952.2	0.01
11	3 015	3 015.6	0.02
12	3 607.3	3 606.7	-0.02
13	4 105.1	4 105.4	0.01
14	4 680	4 679.6	-0.01
15	5 109	5 108.6	-0.01
16	5 646	5 646.2	0.00
17	6 127	6 126.1	-0.01
18	7 051	7 050	-0.01
19	10 664	10 661.2	-0.03
20	13 140	13 147	-0.05

从上述实测数据可以看到:在0.5 Hz~10 kHz范围内,频率测量的相对误差不超过万分之二,远远高于要求0.2%的测量精度。

3 结束语

本文给出的高精度测频方法发挥了 MSP430 单片机的高性能并充分利用了单片机的片内资源, 硬件电路可靠简单且使成本降到最低, 实现了数字系统硬件的软件化, 易于修改和维护; 解决了一般测频电路在高频段和低频段无法同时保证测量准确度的问题。在笔者研制的“智能涡街流量计”和“大坝安全监测自动化采集模块”中, 均使用该测频方法, 采集涡街传感器的流速信号和振弦式传感器振动频率信号, 在工程上取得了良好的应用效果。

参考文献:

[1] 史延龄, 吴强. 用测频法测量电容量[J]. 计量技术,

2002(7):8-30.

[2] Texas Instruments Incorporated. MSP430430x1xx Family user's guide. Manual SLAU049E[M]. Dallas, Texas, USA:[s. n.], 2005:11-15.

[3] 陈一新. 基于单片机的等精度数字测频装置的原理及实现[J]. 国外电子元件, 2002(4):9-11.

作者简介: 贺虎(1981-), 男, 助理工程师, 研究方向: 工程安全监测自动化系统; E-mail: hoo_hee@msn.com; 王万顺(1977-), 男, 工程师, 研究方向: 工程安全监测技术; 田冬成(1969-), 男, 高级工程师, 研究方向: 工程安全监测; 孙建会(1972-), 男, 高级工程师, 研究方向: 工程安全监测; 熊成林(1974-), 男, 高级工程师, 研究方向: 工程安全监测。