

文章编号: 1671-1041(2005)02-0093-02

# 基于 TMS320F2812 的硅微振动陀螺仪的驱动研究<sup>\*</sup>

盛 键, 王寿荣

(东南大学 仪器科学与工程系, 南京 210096)

**摘要:** 本文介绍了一种采用 DSP 技术实现的硅微振动陀螺仪, 分析了利用 TMS320F2812 的 PWM 端口产生的脉宽调制波来实现 D/A 转换的工作原理, 并且基于这种工作原理来产生正弦波实现对硅微陀螺的驱动, 并给出了对应的硬件电路和 C 语言源程序。

**关键词:** 硅微型机械振动陀螺仪; TMS320F2812; 脉宽调制; D/A 转换  
**中图分类号:** TP29 **文献标识码:** B

## Research of the drive motion for silicon micromachined vibratory gyroscope based on TMS320F2812

SHENG Jian, WANG Shou-rong

(Department of Instrument Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** This paper introduces one kind of silicon micromachined vibratory gyroscopes based on DSP, and analyses the principle of utilizing the PWM which is produced by the PWM port of the TMS320F2812 to realize D/A. It describes the method of using the PWM to create a sine wave to drive the silicon micromachined vibratory gyroscopes. At last, it gives the corresponding hardware circuit and C language program.

**Key words:** silicon micromachined vibratory gyroscopes; TMS320F2812; PWM; D/A conversion

### 1 概述

对于硅微振动陀螺仪的研究工作, 有诸多关键问题需要解决。从测控技术的角度考虑, 驱动控制技术就是其中之一。硅微振动陀螺仪驱动模式的振动幅度和频率的变化都会引起陀螺仪标度因数 and 电零位的不稳定, 产生随机漂移。如何提高驱动信号的幅度和频率的稳定性就是本文所研究的内容。

本系统采用的数字信号处理器是 TI 最新推出的 TMS320F2812, 它是一款高性能、低功耗的 32 位定点 DSP 芯片, 它有高度的操作灵活性和运行速度, 使用改进的哈佛结构, 具有专用硬件逻辑的 CPU、片内存储器、大容量的片内 FLASH、片内外围设备以及一个高度专业化的指令集, 使得该芯片具有很高的处理速度和广泛的应用适应性。其中 TMS320F2812 有 16 路 PWM 口, 用其可以实现 D/A 转换。

### 2 利用 PWM 实现 D/A 的原理

PWM 信号是一种具有固定周期 (T) 不定占空比 (D) 的数字信号, 如果 PWM 信号的占空比随时间变化, 那么通过滤波之后的输出信号将是幅度变化的模拟信号。因此通过控制 PWM 信号的占空比, 就可以产生不同的模拟信号。在 TMS320F2812 中通过事件管理器中的周期寄存器来控制周期 T, 用比较寄存器来控制可变占空比, 进而实现 D/A 转换。

<sup>\*</sup> 基金项目: 国家 863 计划资助项目 (2002AAB12038), 东南大学科学基金项目 (9222001321)

收稿日期: 2005-01-24

基于 PWM 的 DAC 分辨率决定于计数器的长度和 PWM 计数器能够实现的最小占空比。可以表达为如下式

$$X_{\text{counts}} = Y/Z$$

式中,  $X_{\text{counts}}$  表示以计数值为单位的分辨率, Y 表示计数器的总计数值, Z 表示最小占空比。

其比特分辨率可以用下式来计算

$$X_{\text{bits}} = \log_2(X_{\text{counts}}) = \log_2(Y/Z) = \ln(X_{\text{counts}})/\ln 2 = \ln(Y/Z)/\ln 2$$

例如 PWM 计数器的长度为 2048 个计数值, 最小的占空比为 2 个计数值, 那么 PWM DAC 的分辨率就是:  $X_{\text{counts}} = Y/Z = 2048/2 = 1024$ , 或者以比特表示:  $X_{\text{bits}} = \log_2(1024) = 10\text{bit}$ 。

PWM 信号需要的输出频率等于 DAC 的更新频率, 因为 PWM 信号占空比的每一次变化等效于一次 DAC 抽样。PWM 定时器所需的频率取决于 PWM 信号频率和所需的分辨率。即

$$f_{\text{clock}} = f_{\text{PWM}} * N$$

这里,  $f_{\text{clock}}$  是所需的 PWM 定时器频率,  $f_{\text{PWM}}$  是 PWM 信号的频率, 也就是 DAC 的更新频率, N 是周期寄存器的值。下文即将描述怎样通过 PWM DAC 来同步产生一个使硅微振动陀螺仪工作所需的 2kHz 的正弦波。由抽样定理可得, 最低的抽样频率应该为 400Hz。但是通常情况下, PWM 信号的频率要远高于 Nyquist 抽样速率。这是因为 PWM 信号的频率越高, 对滤波器的阶数就要求越低, 合适的滤波器越容易实现。通常抽样速率取 Nyquist 速率的 16 或者 32 倍。

本文中的例子是用 TMS320F2812 的 EVA 事件管理器再加滤波器来产生一个 2kHz 的正弦波的。将通用定时器 1 配置为连续增/减计数模式。在这种模式下计数器计数至 N, 然后复位从 0 开始重新计数。每次循环都改变比较寄存器的值, 这样就可以产生可变宽度的脉冲, 下文中的正弦波就是用这种办法产生的, 若不变化则产生的是固定宽度的脉冲。整个 DSP 时钟由 30MHz 的晶振提供, 通过系统内部硬件锁相环 PLL 倍频到 150MHz 的 DSP 工作频率。

### 3 整个系统的实现

利用 PWM 实现 DAC 以及整个陀螺仪的驱动电路如图 1 所示。

(1) 正弦信号的产生。根据硅微振动陀螺仪的要求, 一个正弦波用 128 个抽样值生成。正弦波的频率为 2kHz, 所以每秒要抽样  $2000 \times 128 = 256000$  次, 也就是说  $f_{\text{PWM}} = 256\text{kHz}$ 。由于 TMS320F2812 的时钟频率为 150MHz, 所以  $N = f_{\text{clock}} / (f_{\text{PWM}} * 2) = 292$ 。抽样值包含在程序开始的一个正弦表中, 通过调用中断函数, 在每个 PWM 周期结束时, 将新的正弦波抽样值载入比较寄存器中。因此产生的 PWM 信号的脉冲宽度就决定了正弦波在每一个时刻的抽样值, 将这个 PWM 信号经过低通滤波, 即得所需的正弦波。

(2) 滤波器的设计。本文采用的是一个三阶全极点有源滤波器, 具有非常高的输入阻抗和接近零的输出阻抗。滤波器的输入/输出传递函数为

$$V_o/V_i = 1/(a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0)$$

其中,  $a_0 = 1 + (R_1/R_4)$ ,  $a_1 = R_1(C_1 + C_2) + (R_2 + R_3) + (R_1/R_4)C_2(R_2 + R_3)$ ,

$$a_2 = R_3 C_2 C_3 (R_1 + R_2) + R_2 R_3 C_2 C_3 + (R_1 / R_4) R_2 R_3 C_2 C_3 = R_1 R_2 R_3 C_1 C_2 C_3$$

根据所需要的滤波器带宽来确定相应的系数。当截止频率很近信号带宽边缘时将会导致相当大的衰减。因此为了减小滤波器的衰减，截止频率应该大于信号带宽边缘，但是要远小于 PWM 信号的频率。

#### 4 程序流程及清单

要使 TMS320F2812 产生脉宽调制信号还需要对 DSP 进行一系列的初始化操作，包括初始化定时器控制寄存器、动态控制寄存器和死区控制寄存器，对周期寄存器、比较寄存器置初值，还有对中断寄存器的设置等。下面给出了整个程序的流程图（图 2）以及部分源代码。

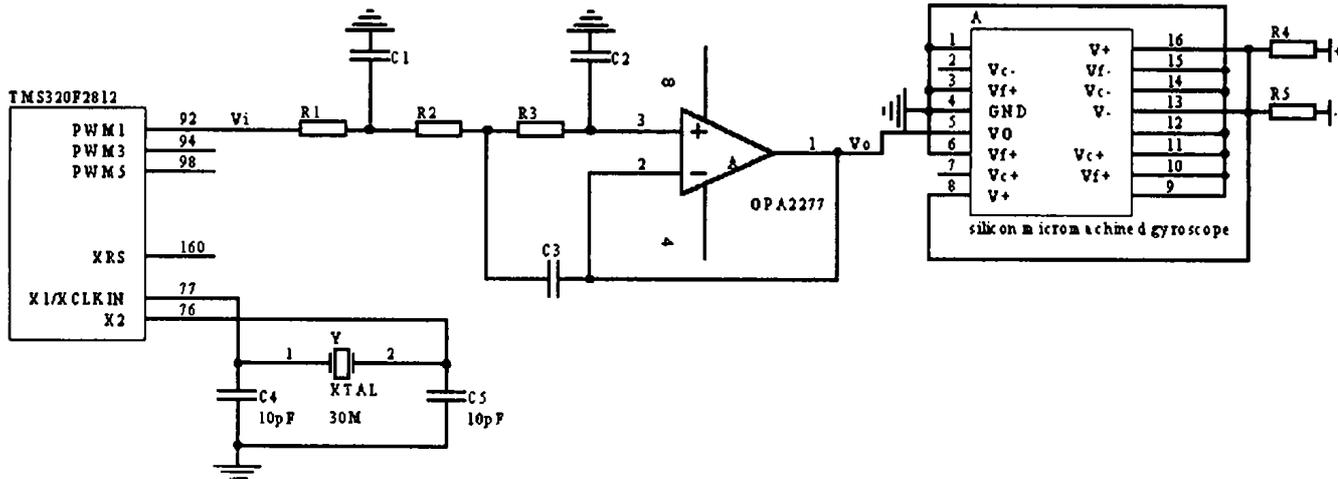


图 1 陀螺仪的驱动电路图

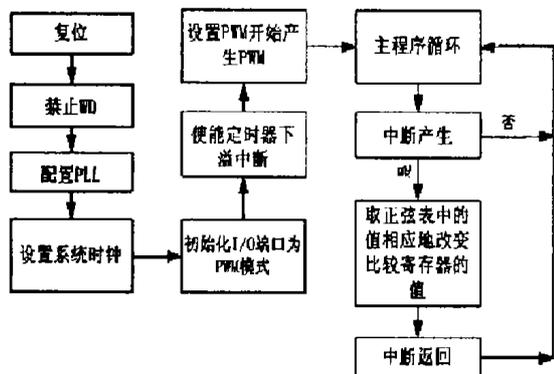


图 2 流程图

TMS320F2812 的另外一个特点是用 C 语言编写程序简单，而且效率很高。本例就采用 C 语言编写了程序。PWM 部分的具体程序如下：

```

.....
// 定义正弦表
for(i=0;i<128;i++)
c[i]=(int)292*(0.5+0.5*sin((i+1)*3.1415926*2/128));
// 初始化 PWM 寄存器
EvaRegs.GPTCONA.all = 0;
EvaRegs.T1PR = 292; // Timer1 period 2KHz
EvaRegs.CMPR1 = c[0];
EvaRegs.ACTRA.all = 0x0666;
EvaRegs.DBTCNA.all = 0x0000; // Disable deadband
EvaRegs.COMCONA.all = 0x8200;
EvaRegs.EVAIMRA.bit.T1UFINT = 1;
EvaRegs.EVAIFRA.bit.T1UFINT = 1;
EvaRegs.T1CNT = 0x0000; // Timer1 counter
EvaRegs.T1CON.all = 0x0840;
// 开中断
i=1;
PieCtrlRegs.PIEIER2.all = M_INT6;
IER |= M_INT2; // Enable CPU Interrupt 1
EINT; // Enable Global interrupt INTM
for(;;);
    
```

```

.....
// 中断服务程序
interrupt void T1UFINT_ISR(void) // EV-A
{
EvaRegs.CMPR1=c[i];
i++;
if(i>=N)
i=0;
EvaRegs.EVAIMRA.bit.T1UFINT = 1;
EvaRegs.EVAIFRA.all = BIT9;
PieCtrlRegs.PIEACK.all = PIEACK_GROUP2;
EINT;
}
    
```

#### 5 结束语

随着当今数字信号处理理论和方法、计算机科学与技术 and 集成电路技术等诸多领域最新成果相互协同、相互促进，使 DSP 芯片尽显其优越的性能和极大潜力。用 DSP 芯片再配上一些外部设备俗称信号处理系统也是近年来发展的一种趋势。将 DSP 技术应用于硅微陀螺上，可以改善陀螺的性能，提高精度和可靠性。运用 PWM 实现 D/A 的方法免去了外扩 DAC 的额外电路，降低了硬件的复杂度和成本。本方案已经应用于本人参与开发的对硅微陀螺进行驱动的研究中，方便灵活，且效果甚佳，用其产生的正弦波的幅值稳定度可以达到 0.1mV，频率稳定度可以达到 0.1Hz，从而提高了整个系统的稳定性和可靠性。

#### 参考文献

- [1] 王寿荣. 硅微型惯性器件理论及应用. 南京: 东南大学出版社, 2000.
- [2] TMS320C28x DSP CPU and Instruction Set Reference Guide. Texas Instruments Inc. May 2002.
- [3] TMS320C28x Optimizing C/C++ Compiler User's Guide. Texas Instruments Inc. May 2002.
- [4] TMS320F28x Event Manager (EV) Peripheral Reference Guide. Texas Instruments Inc. May 2002.
- [5] TMS320F28x System Control and Interrupts Peripheral Reference Guide. Texas Instruments Inc. May 2002.

作者简介: 盛键 (1977-), 硕士研究生, 研究方向: 微型仪表及微系统技术; 王寿荣, 教授, 博士生导师, 研究方向: 微型仪表及微系统技术。