

校准iMEMS®陀螺仪

作者: Harvey Weinberg

要求高精度稳定性的惯性导航或其它应用经常会使用陀螺仪。为获得最高性能，用于这些应用的陀螺仪一般需要进行校准和外部温度补偿。本应用笔记介绍了一种执行校准和温度补偿的方法。

概述

如果陀螺仪是用于温度稳定的环境中（或者如果它通过温度控制系统保持在恒定温度），单温度点校准就足够了。要进行单温度点校准，只要将陀螺仪放置于想要的工作温度（预留足够的放置时间），然后测量零点输出电压 (V_0)。

要确定比例因子(S)，必须使用一些应用角速率的方法（一般是建立一张速率表）。由于ADXRS6xx系列陀螺仪的非线性度很小，所以（最好是在满量程附近）测量旋转速率的输出。比例因子可以通过以下公式计算得出

$$S = (V_{\text{ROTATING}} - V_0) / \text{旋转速率} \quad (1)$$

得到 V_0 和S的值之后

$$\text{角速率} = (V_{\text{GYRO}} - V_0) / S \quad (2)$$

温度补偿

如果陀螺仪将在一定温度范围内工作，那么就需要通过温度补偿来达到最佳性能。ADXRS6xx系列陀螺仪集成了一个片内温度传感器用于实现温度补偿。

所需的校准信息与之前描述的单温度点方法类似，只是 V_0 和S必须在不同的温度点进行测量。另外，必须记录温度传感器的输出(V_T)。由于ADXRS6xx陀螺仪的温度性能有些非线性，所以至少需要三个温度点用于温度补偿。使用更多的温度点可以提高精度和零点稳定性；然而，计算会变得更为复杂。

使用三个温度点进行校准，ADXRS6xx能达到250°/小时的零点稳定性。要达到40°/小时的零点稳定性，至少需要五个点以上。

三点校准

一旦测得温度和零点电压，在三个温度点上计算出比例因子，就能够将校准数据减化为校准系数，将校准系数用于通用公式就可以进行温度补偿。这里有几种方法，本应用笔记描述的是从其中任选的一种。

通过如下公式定义陀螺仪输出参数：

$$V_{P1} = V_{P0} + a(V_{T1} - V_{T0}) + b(V_{T1} - V_{T0})^2 \quad (3)$$

$$V_{P2} = V_{P0} + a(V_{T2} - V_{T0}) + b(V_{T2} - V_{T0})^2 \quad (4)$$

其中：

V_{P0} 是温度传感器值室温(V_{T0})下的参数值。

V_{P1} 是温度传感器值(V_{T1})同样的参数值。

V_{P2} 是温度传感器值(V_{T2})同样的参数值。

系数a和b根据公式5和6计算得出

$$a = (V_{P1} - V_{P0}) / (V_{T1} - V_{T0}) - b(V_{T1} - V_{T0}) \quad (5)$$

$$b = [(V_{P1} - V_{P0}) / (V_{T1} - V_{T0}) - (V_{P2} - V_{P0}) / (V_{T2} - V_{T0})] / (V_{T1} - V_{T2}) \quad (6)$$

一旦计算得到系数a和b，所有参数都可以用前面提到的一般公式表示。

示例

在-40°C、+25°C和+85°C下测量给定的陀螺仪。测试结果如表1所示。

表1. 陀螺仪测试结果示例

输出	-40°C	+25°C	+85°C
温度(V)	1.97777	2.49699	2.97868
零点(V)	2.34948	2.35468	2.34216
比例因子(mV)	11.9081	12.7440	13.1951

表2. 术语定义

术语	定义
V_0	陀螺仪在环境温度(+25°C)的零点输出。
V_1	陀螺仪在温度点1(-40°C)的零点输出。
V_2	陀螺仪在温度点2(+85°C)的零点输出。
V_{null}	陀螺仪零点输出
V_{T0}	在环境温度下的温度输出
V_{T1}	在温度点1的温度输出
V_{T2}	在温度点2的温度输出
V_{TEMP}	温度输出
S_0	在环境温度下的陀螺仪比例因子
S_1	温度点1的陀螺仪比例因子
S_2	温度点2的陀螺仪比例因子
S	陀螺仪比例因子

这个陀螺仪的零点输出系数如公式7和公式8所示。

$$a_{null} = (V_1 - V_0)/(V_{T1} - V_{T0}) - b(V_{T1} - V_{T0}) \quad (7)$$

$$b_{null} = [(V_1 - V_0)/(V_{T1} - V_{T0}) - (V_2 - V_0)/(V_{T2} - V_{T0})]/(V_{T1} - V_{T2}) \quad (8)$$

这样,

$$a_{null} = -0.00866$$

$$b_{null} = -0.03597$$

在此例中, 陀螺仪在任意温度的零点输出可以用公式9表示

$$V_{null} = V_0 + a_{null}(V_{TEMP} - V_{T0}) + b_{null}(V_{TEMP} - V_{T0})^2 \quad (9)$$

同样地, 比例因子系数为公式10和公式11。

$$a_{scale} = (S_1 - S_0)/(V_{T1} - V_{T0}) - b(V_{T1} - V_{T0}) \quad (10)$$

$$b_{scale} = [(S_1 - S_0)/(V_{T1} - V_{T0}) - (S_2 - S_0)/(V_{T2} - V_{T0})]/(V_{T1} - V_{T2}) \quad (11)$$

这样,

$$a_{scale} = 1.26056$$

$$b_{scale} = -0.6728$$

这个陀螺仪在任意温度的比例因子可以用如下公式表示:

$$S = S_0 + a_{scale}(V_{TEMP} - V_{T0}) + b_{scale}(V_{TEMP} - V_{T0})^2 \quad (12)$$

计算经过温度补偿的角速率

一旦计算得到校准系数, 就可很容易地通过下面的四步过程将陀螺仪的输出转换为以度/秒为单位的经过温度补偿的角速率数据。

1. 读取用电压表示的温度输出。用公式9在实际温度下确定经过计算的零点。

$$NULL_{calc} = V_0 + a_{null}(V_{TEMP} - V_{T0}) + b_{null}(V_{TEMP} - V_{T0})^2 \quad (13)$$

2. 读取用电压表示的速率输出值并用公式14计算零点温度下经过校正的速率输出。

$$RATE_{CORRECTED} = RATE_{OUTPUT} - NULL_{calc} \quad (14)$$

3. 在器件温度下用公式12计算比例因子。

4. 用前面得到的信息, 通过公式15计算实际的角速率。

$$\text{角速率} = RATE_{CORRECTED}/S \quad (15)$$

对于之前举例的陀螺仪, 在85°C时, 如果速率输出值为3.00 V, 那么实际的角速率按如下方法计算:

计算出在85°C时的零点为

$$NULL_{calc} = V_0 + a_{null}(V_{TEMP} - V_{T0}) + b_{null}(V_{TEMP} - V_{T0})^2 \quad (16)$$

$$NULL_{calc} = 2.35468 - 0.00866 \times (2.97868 - 2.49699) - 0.03597 \times (2.97868 - 2.49699)^2$$

$$NULL_{calc} = 2.34216 \text{ V}$$

计算出在85°C时的零点为

$$RATE_{CORRECTED} = RATE_{OUTPUT} - NULL_{calc} \quad (17)$$

$$RATE_{CORRECTED} = 3.00 - 2.34216 = 0.65784 \text{ V}$$

计算出在85°C时的比例因子为

$$S = S_0 + a_{scale}(V_{TEMP} - V_{T0}) + b_{scale}(V_{TEMP} - V_{T0})^2 \quad (18)$$

$$S = 12.744 + 1.26056 \times (2.97868 - 2.49699) - 0.6728 \times (2.97868 - 2.49699)^2$$

$$S = 13.1951 \text{ mV}$$

这样, 用度/秒表示的角速率为

$$\text{Angular Rate} = RATE_{CORRECTED}/S \quad (19)$$

$$\text{Angular Rate} = 0.65784/0.0131951 = 49.85^\circ/\text{sec}$$

结论

ADXRS6xx系列陀螺仪的温度补偿很简单。用简单的曲线拟合来计算校准系数, 只有很少的校准信息需要存储在NVRAM中, 实际速率的计算也只需用到简单的公式。3点温度校准可以充分校正零点漂移从而达到250°/小时的零点稳定性。采用多于三个校准温度和更复杂的校准公式还可以获得更好的零点稳定性。