



MEMS 电容式 加速度传感器

产品说明书

MS7000.3

30D.MS7X.F.08.07

简介

Colibrys MS7000 系列加速度传感器的最初设计和开发, 主要是为了满足石油和天然气钻探的严格要求。从那以后, 该产品被广泛地使用在振动, 惯性或倾斜测量等应用中。该产品广泛应用于工业, 交通或民用等领域, 特别是当需要高性能指标 (仪器) 或当要求高可靠性 (航空电子学和地球物理) 时。

这种移动传感器的主要优点是其零位长期稳定性, 较高的带宽, 高可靠性, 温度系数小甚至不需补偿, 以及低功耗等。

该产品已经过严格的资格认证。并广泛成功地应用在如, 钻井, 数据记录或是用于技术规范非常严格的民用航空器飞行姿态控制系统。MS7000 提供了 2g 和 10g

的全测量范围的标准产品 (表 1), 并且 Colibrys 拥有丰富的经验, 能满足广泛的客户定制产品的要求。

Colibrys 可以根据需要为客户提供定制的产品, 如不同的抗冲击性能和输入信号带宽以及全测量范围从 +/-1g 到 +/-100g 不同的产品。

产品说明

MS7000 系列是一个电容式 MEMS 加速度计, 它是由一个立体微加工工艺制成的硅元件, 一个低功耗 ASIC 专用信号处理器和一个存储补偿值的微控制器 (图 1)。

MS7000 采用一个电源电压 (在 2.5V 至 5.5V 之间) 运行, 并且电流消耗低 (在 3V 时, <200 微安)。在 3V 的加载电压下, 其信号输出是一个成比例的模拟信号电压, 相应的模拟电压输出值在全加速度量程范围内, 变化在 0.5V 和 2.5V 之间。该传感器是完全自承载的和采用了 TO8 外壳和 12 个管脚封装, 从而确保其全密封性。它可以在 -40°C 至 125°C 温度范围内运行, 并能承受高达 6000g 的冲击而没有性能变化。零位长期稳定性和比例因子通常小于全测量范围的 0.1%。对于 ±2g 型号 (MS7002.3), 零位温度系数通常是 200 μg/°C, 而比例因子的温度系数, 没有外部补偿时, 为 200 ppm/°C。



Fig. 1 : Open view of a MS7000 product

全加速度测量范围	± 2g	± 10g
TO8, 12 个管脚封装	MS7002.3	MS7010.3

加速度计产品特点

该加速度计是一种采用体硅微机械工艺的电容式传感器。人们通过评估, 以确定采用哪种基本技术能最好的满足高性能 MEMS 加速度传感器的需要。其结果表明: 相对于表面结构 (质量块平行于平面的位移) 技术, 采用立体结构 (质量块垂直于平面的位移) 技术来制作高端传感器是最成功的。

COLIBRYS 制造加速度计的关键技术是一种基于结构化的三层硅片系统。由中间层硅片构建一个有弹性悬臂支撑的质量块。该惯性质量块同时也是电容式传感器的中心电极, 而上下两层硅片构成传感器固定的两个电极 (见图二)。

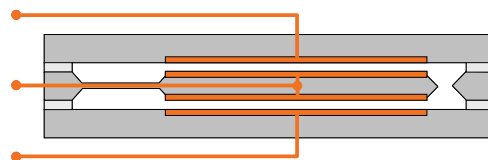


Fig. 2 : Cross section of a Colibrys accelerometer

将三层硅片结合在一起的工艺是 “硅片高温自粘合” (SFB) 工艺。该工艺不仅保证了系统的各硅片之间完美平衡同时还能将弹性悬臂支撑的质量块密闭在形腔中 (见图三)。粘合工艺是在高温 (>1000°C) 和低压条件下进行的以保证最佳空气阻尼。

该工艺可以避免任何表面污染特别是水分子，还可以释放所有在粘合工艺形成的表面张力。

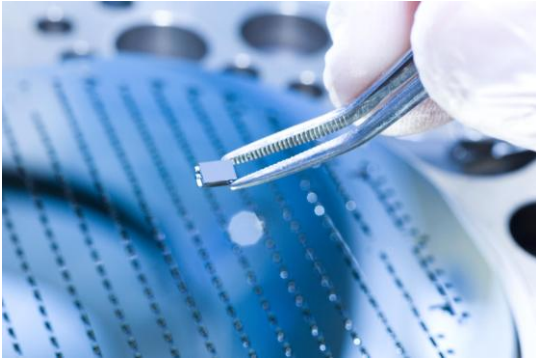


Fig. 3 : MEMS 硅传感器

加速度计基本工作原理

MS7000.3 产品的标准校准电压是 $(VDD-VSS) = 3V$ 。因此除非特别声明，所有的参数都在此工作电压下给出。根据市场需求该产品也可在不同的电压 (i.e. 5V) 下校准。尽管是在 3V 情况下校准，MS7000.3 产品也可以采用，变化范围在 2.5V 到 5.5V 之间的标称输入电压。

在这种情况下，标称输出信号电压可根据下列公式：

$$V_{out} = (VDD - VSS) / 2 + A_i * (K1 * VDD / 3) \quad (1)$$

$$V_{AGND} = (VDD - VSS) / 2 \quad (2)$$

根据这个公式⁽¹⁾，零位和比例因子是与工作电源的电压成比例关系。参考电位 VAGND 为电源电压的一半，在 g 为零时，等于输出电压。所有传感器各项指标，如零位修正，增益和非线性度等，都在给定的误差范围内被校准，以使之符合理想的响应曲线。

传感器的连接和工作电源

详细的方框图由在下列图 4 中给出。

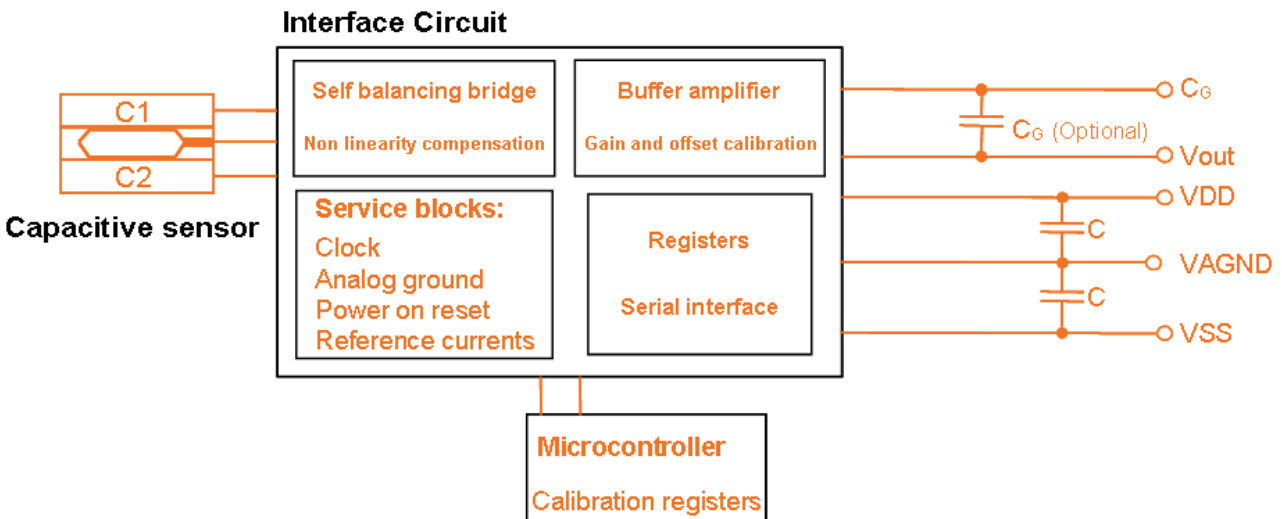


图 4：方框图

建议在 VDD 和 VAGND 之间以及 VAGND 和 VSS 之间用 $1\mu F$ 的退耦电容器联结，并且连接点尽量靠近加速度计。建议使用 COG 或 X7R @ 5% 等型号的电容器。最重要的是，VAGND 端的接地连线要尽量短。任何其他方式连接都会直接影响零位校准。

这对于避免因冲击而造成质量块附着在固定电极表面的现象，是至为关键的。

使用这种工艺还可以消除由于潮湿引起的输出电压漂移的影响以及其他表面污染物。

“弹性悬臂—质量块”测量系统的测量范围是可调的。通过改变弹性悬臂的厚度可以改变开环测量范围。在加速或倾斜的情况下，惯性作用使质量块在上下电极板之间移动造成电容器的电容变化。这种传感电容的差值变化通过界面电路来测量，这种界面电路采用了一个自平衡电容桥将信号转换成使用了补偿参数校准的输出电压，而补偿参数（如零位修正，增益和非线性度等）则存储在微处理器中。

每个传感器都是以下列模型来描述：

$$V_{out} = k_1 * (k_0 + A_i + k_2 A_i^2 + k_3 A_i^3 + k_p A_p + k_o A_o + k_{ip} A_i A_p + k_{io} A_i A_o + E)$$

其中

- A_i, A_p and A_o 分别是传感器每个轴方向的加速度（见图 6）
 - i: 输入轴方向（Z 轴）
 - p: 摆轴方向（Y 轴）
 - o: 输出轴方向（X 轴）
- K1 加速度计比例因子 [V/g]
- K0 零位 [g]
- K2 二次非线性度 [g/g²]
- K3 三次非线性度 [g/g³]
- Kp 摆轴方向非线性度 [rad]
- Ko 输出轴方向非线性度 [rad]
- Kip, Kio 轴之间交叉耦合系数 [rad/g]
- E 剩余噪声 [g]

在每次通电开始时，微控制器将校准参数输入 ASIC 专用信号处理器，然后进入待机状态。在这段时间不到 50ms 初始化期间，其电流消耗达到最大值，即在室温及 5V 电压状态时，电流消耗为 1mA。同样状态下，正常工作电流则小于 400 μA 。

使用非稳压电源(比如, 电池)时, 输出电压则要用输入电压根据公式 (1) 修正, 以获得校准过的信号。这种修正

或校准也可以通过让传感器和外接 A/D 信号转换器使用同一电源来实现。

带宽控制

为方便开发应用, Colibrys 提供了一种控制传感器的输出带宽的方式。通过在管脚 C_G 和 V_{out} 之间加一个电容 C_G , 就可以控制 MS7000 的 ASIC 专用信号处理器里面的内置缓冲放大器的一级过滤器。遗憾的是, 这种方式对温度非常敏感, 因而很难在生产阶段采用, 如果需要一个精确和稳定的带宽的话。

在没有外接电容情况下, 缓冲放大器的截止频率通常是 3.8 kHz (最小值: 2.2 kHz)。

如果不需带宽控制(建议采用), 管脚 C_G (管脚 3) 必须保持在非连接状态。

注意: 这个管脚对潮湿敏感。为保证整个系统的稳定性, 建议正确控制加速度计潮湿环境。

管脚	描述	备注
1	NC	无连接
2	V_{out}	加速度计输出信号
3	C_G	输入信号带宽调整
4	VSS	接地
5	VAGND	加速度计输出参考电压(VDD/2)
6	VDD	工作电压
7	NC	无连接
8	NC	无连接
9	VPP (Colibrys 内部校准用管脚)	必须 接地
10	SDA (Colibrys 内部校准用管脚)	必须 接地
11	SCK (Colibrys 内部校准用管脚)	必须 接地
12	NC	无连接

图 5: MS7000 系列的电连接

封装

封装采用标准的 TO8 型管壳和 12 个管脚。

密封工艺经检测达到 5·10-8 atm·cm³/s (MIL-STD-883-E 标准)。

精确尺寸在图 6 中给出, 产品标准重量为 2.6 克。

接地

对于低噪声运行, 传感器外壳应该与系统地线连接。这可以通过管脚 1 或 TO8 外壳安装接地来实现。

注意, 外壳与加速度计电子线路绝缘。

安装

MS7000 加速度计 TO8 外壳必须紧密地固定在 PCB 板上, 外壳底部可用作轴线对齐的参考平面。注意, 安装过程对外壳使用过度压力和极端焊接工艺条件会对加速度计技术指标造成影响。

静电放电敏感度 ESD

ESD 灵敏度: 2 级(根据 MIL-STD-883-E 方法 3015.7 (人体模型, 2kV)的标准)

质量体系

Colibrys 通过了 ISO 9001.2000, ISO 14001 和 OHSAS 18001 等体系的认证; 如有需要可以提供复印件。

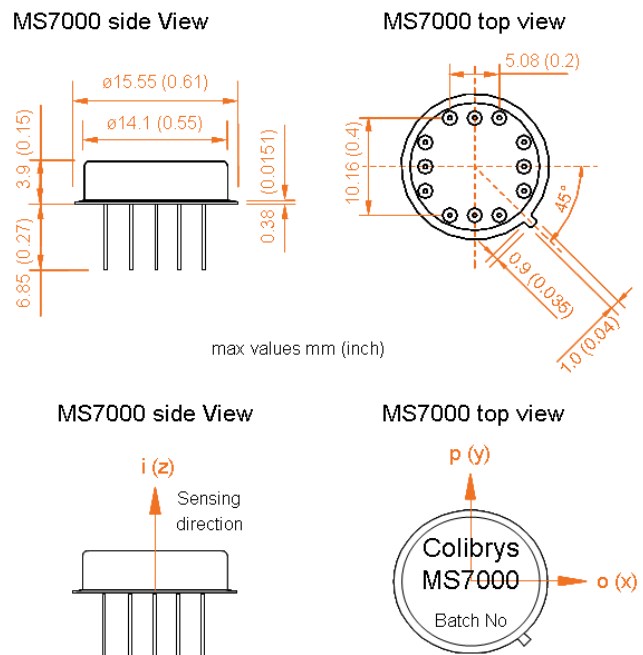


Fig. 6 : MS7000 TO8 packaging

定义与术语

下表中给出本文中术语的定义:

VDD, VSS	[V]	工作电压 (VSS=0 时, $2.5V \leq VDD \leq 5.5V$)
Vout	[V]	传感器输出电压
VAGND	[V]	1/2 工作电压。在 g 为零时, 等于输出电压。
A _{FS}	[g]	输入轴(Z 轴)方向的加速度的全量程测量范围。即传感器的测量范围是 $-A_{FS} \leq A_i \leq +A_{FS}$
A _i	[g]	输入轴(Z 轴)方向的加速度
A _p	[g]	摆轴(Y 轴)方向的加速度
A _o	[g]	输出轴(X 轴)方向的加速度

数据表中参数的词汇表

g [m/s²]

加速度单位, 等于标准地球重力加速度值 (Colibrys 采用值 9.80665 m/s²)

零位 Bias [mg]

加速度计在加速度 **g** 为零时的输出值

零位稳定性 Bias Stability [mg]

在极端外界条件 (老化, 温度交替, 冲击, 振动等) 变化所产生的最大零位漂移

零位 温度系数 Bias Temperature Coefficient [$\mu\text{g}/^\circ\text{C}$]

在外界温度变化时的最大零位修正量(即零位—温度曲线的最佳匹配直线的斜率). 零位 温度系数的标定是在 -40°C and $+50^\circ\text{C}$ 之间, 其中温度为线性变化。

比例因子(输出灵敏度) Scale factor sensitivity [mV/g]

输出信号 (电压 V) 与单位输入信号 (加速度 g) 之比; 单位为 mV/g

比例因子的温度系数 Scale factor temperature coefficient [ppm/ $^\circ\text{C}$]

在外界温度变化时的最大比例因子的修正量

温度敏感度 Temperature sensitivity

在全工作温度范围内, 某一给定指标 (通常是, 比例因子, 零位, 轴准直的偏离度) 对温度敏感程度, 即与给定值最大偏离程度。温度敏感度由给定指标的变化量除以温度的变化量来表示; 对于比例因子通常用 ppm/ $^\circ\text{C}$ 表示, 而对于零位则用 $\mu\text{g}/^\circ\text{C}$ 表示。温度敏感度这个指标作为一个变量, 在建立模型过程时, 对于预估最大误差是有益的。

轴准直度 Axis alignment [mrad]

安装在一个平面上的加速度计的实际敏感轴与加速度计的基准平面的正交轴的偏移程度。

灵敏度, 阈值 Resolution, Threshold [mg]

可以有效检测到的最小加速度值。

非线性度 Non-linearity [% of FS]

量程范围内加速度计输出值与最佳线性适合曲线的最大偏移程度。非线性度用全量程输出(+A_{FS})的百分比来表示。

带宽 Bandwidth [Hz]

从直流到频率为 F_{-3dB} 的频率范围, 其中, 在频率为 F_{-3dB} 时的频率响应变化量小于-3dB。

谐振频率 Resonant frequency nominal [kHz]

已安装的系统的典型共振频率值。

噪声 Noise [$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$]

加速度计输出信号中的不受欢迎的干扰信号, 该信号通常与输入的加速度无关。