

加速度传感器原理

简介:

MEMSIC 器件是基于单片 CMOS 集成电路制造工艺而生产出来的一个完整的双轴加速度测量系统。就像其它加速度传感器有重力块一样，MEMSIC 器件是以可移动的热对流小气团作为重力块。器件通过测量由加速度引起的内部温度的变化来测量加速度。

MEMSIC 传感器中的质量块是气体。气态的质量块同传统的实体质量块相比具有很大的优势。MEMSIC 的器件不存在电容式传感器所存在的粘连、颗粒等问题，同时能抵抗 50000g 的冲击，这使得 MEMSIC 器件的次品率和故障率很低。通过测量温度变化来确定加速度的装置原理将在下面介绍。

一个被放置在硅芯片中央的热源在一个空腔中产生一个悬浮的热气团。同时由铝和多晶硅组成的热电偶组被等距离对称地放置在热源的四个方向。在未受到加速度或水平放置时，温度的下降梯度是以热源为中心完全对称的，此时所有四个热电偶组因感应温度而产生的电压是相同的(见图 1)。

由于自由对流热场的传递性，任何方向的加速度都会扰乱热场的轮廓，从而导致其不对称，此时四个热电偶组的输出电压会出现差异。而这热电偶组输出电压的差异是直接与所感应的加速度成比例的。在加速度传感器内部有两条完全相同的加速度信号传输路径：一条是用于测量 X 轴上所感应的加速度；另一条则用于测量 Y 轴上所感应的加速度(见图 2)。

加速度传感器量程和输出:

MEMSIC 加速度传感器最大可以测量范围是 $\pm 1g$ 到 $\pm 100g$ 。除了动态加速度（如震动），MEMSIC 器件还可以测静态加速度（如重力加速度）。

器件可以提供模拟或数字的输出信号。模拟输出有绝对模式和相对模式两种。绝对模式的输出电压和供电电压无关，而相对模式的输出电压和供电电压成比例。数字输出信号是一种 PWM 调制后的和加速度大小成正比的占空比信号（高电平占一个周期脉宽的比率）。

分辨率，也就是能测量到的最小加速度变化量，取决于信号噪声。MEMSIC 的典型噪声水平低于 $1 \text{ mg}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。在低频条件下可以测量到低于 1mg 的信号。

频率响应，也就是对快速变化的加速度的反应能力，由结构来决定。对器件来说，在 -3dB 处频响为 30Hz 。通过外部扩展，频响可以扩展到 160Hz 以上(参考应用资

料 AN-00MX-003)。

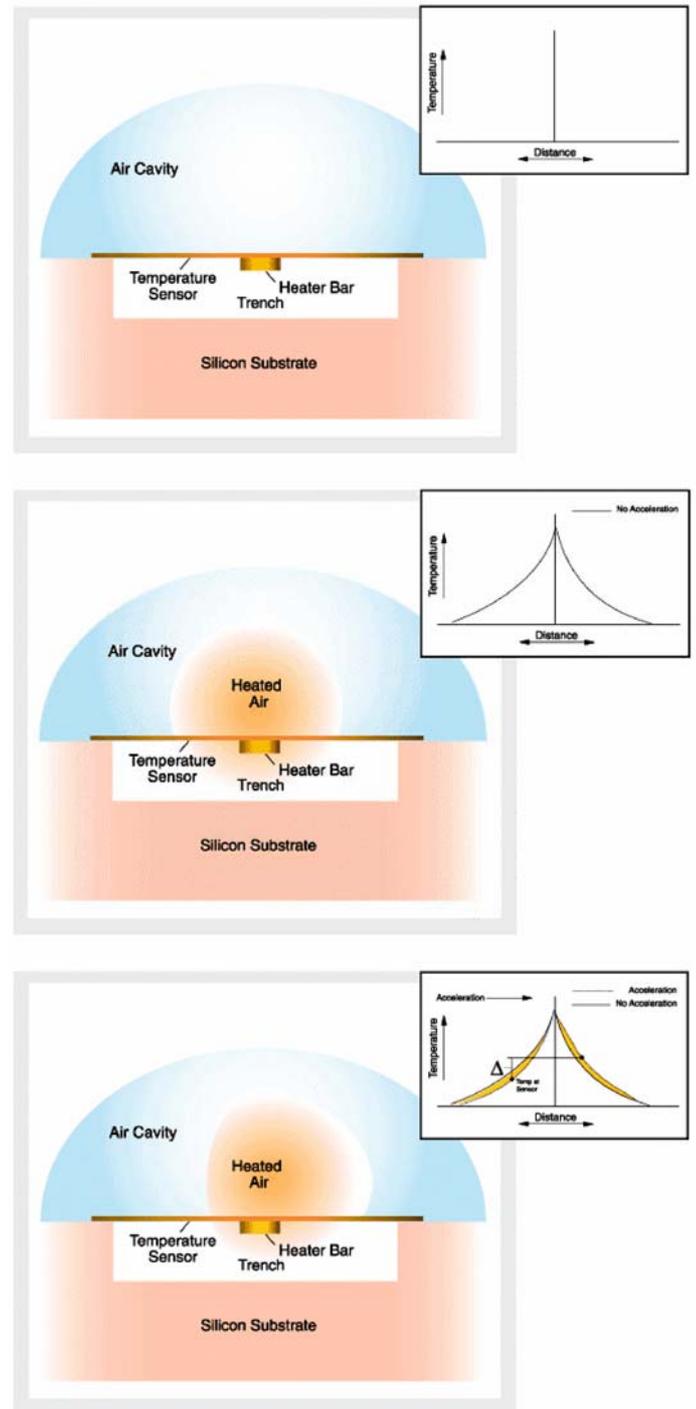


图 1 传感器检测原理垂直剖面图

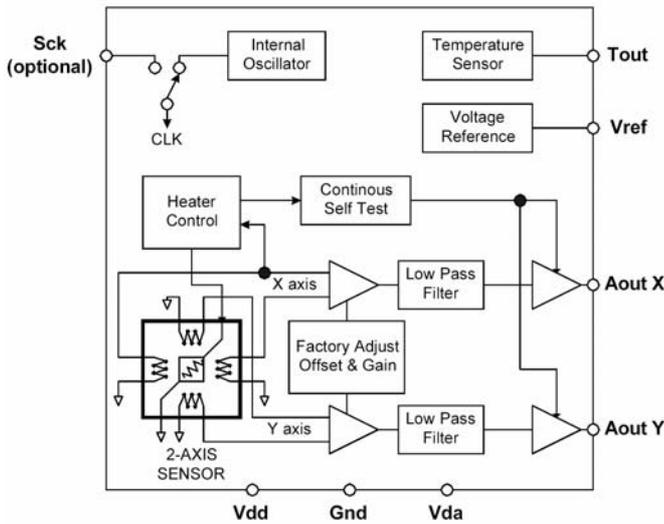
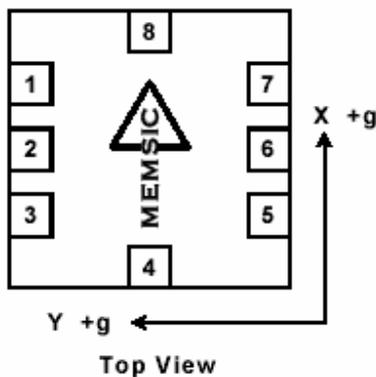


图 2 内部功能方块图

封装和工作条件:

加速度传感器采用低高度 LCC 表面贴装气密性封装形式 (封装尺寸: 5mm x 5mm x 2mm). 它还包含一个内置的温度传感器和参考电压输出。



管脚描述: LCC-8 封装

引脚	名称	描述
1	T _{OUT}	温度传感器输出(模拟电压)
2	A _{OUTY}	Y 轴加速度信号输出
3	GND	接地脚
4	V _{DA}	模拟电路电源电压
5	A _{OUTX}	X 轴加速度信号输出
6	V _{ref}	2.5V 参考电压
7	Sck	可选外部时钟(通常接地)
8	V _{DD}	数字电路电源电压

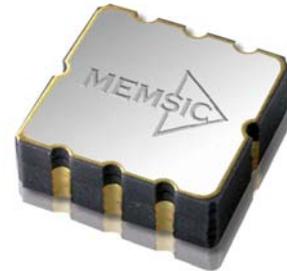


图 3 LCC 封装样品和引脚

管脚介绍:

V_{DD} 内部数字电路电源电压输入脚。直流电源电压必须控制在+3V 到+5.25V 之间。请参照印刷电路板排板及制作注意事项章节添加外围元器件。

V_{DA} 内部模拟电路电源电压输入脚。直流电源电压必须控制在+3V 到+5.25V 之间。请参照印刷电路板排板及制作注意事项章节添加外围元器件。

GND 接地脚。

A_{OUTX} X轴加速度感应输出脚。与之相连的器件的输入阻抗需足够高以保证此脚的输出电流不大于 100μA。灵敏度在出厂前被设置成与Y轴相同,但可以根据用户的要求将两个轴的灵敏度设置成不同的值。详细情况请于 MEMSIC 联系。

A_{OUTY} Y轴 加速度感应输出脚。与之相连的器件的输入阻抗需足够高以保证此脚的输出电流不大于 100μA。灵敏度在出厂前被设置成与Y轴相同,但可以根据用户的要求将两个轴的灵敏度设置成不同的值。详细情况请于 MEMSIC 联系。

T_{OUT} 内部温度传感器缓冲输出脚。此脚输出的模拟电压所指示的是管芯衬底的温度。此电压可用于测量周围环境温度的变化量而不是对温度直接测量。当环境温度发生变化时, T_{out} 的输出电压相对于 25°C 时的电压就产生一个差值。用此差值可以对传感器的零点偏置和灵敏度进行补偿。具体方法请参考灵敏度补偿一节。

Sck MEMSIC 标准产品选择的是内部时钟 (800kHz), 当选择内部时钟时此脚必须接地。根据客户的特殊要求, MEMSIC 可以定制使用外部时钟的产品。外部时钟的频率范围: 400kHz 至 1.6MHz。

详细的温度补偿方法请参照MEMSIC相关应用资料：
#AN-00MX-02。

倾斜测量及最高分辨率：

倾角测量： MEMSIC加速度传感器的一个最普遍的应用是用于倾角的测量。加速度传感器通过感知地球重力加速度在其测量轴上的分量的大小来确定物体的倾斜角度。

当MEMSIC加速度传感器被水平放置时（两个灵敏轴与水平面平行），它对位置或倾角的变化最为敏感。而当它被垂直放置时（两个灵敏轴与水平面垂直），对于位置或倾角变化的敏感度将下降。

表 1 和 图 6 描述了器件从+90° 到 0°倾斜过程中 X 轴和 Y 轴输出值的相应变化。请注意当一根轴（每倾斜一度）的输出变化较小时，另一根轴的输出变化则较大。把两个轴的这一变化特性相互弥补可以设计成一款低价位，精度较高的倾角仪（参照应用资料：AN-00MX-007）。

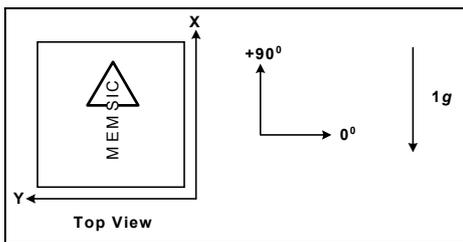


图 6: 加速度传感器与重力加速度的相对位置

X 轴与水平面的夹角 (deg.)	X 轴		Y 轴	
	X 输出 (g)	每倾斜一度的变化 (mg)	Y 输出 (g)	每倾斜一度的变化 (mg)
90	1.000	0.15	0.000	17.45
85	0.996	1.37	0.087	17.37
80	0.985	2.88	0.174	17.16
70	0.940	5.86	0.342	16.35
60	0.866	8.59	0.500	15.04
45	0.707	12.23	0.707	12.23
30	0.500	15.04	0.866	8.59
20	0.342	16.35	0.940	5.86
10	0.174	17.16	0.985	2.88
5	0.087	17.37	0.996	1.37
0	0.000	17.45	1.000	0.15

表 1: 倾斜过程中 X 轴和 Y 轴的变化

分辨率： 加速度传感器的分辨率受其噪声的限制。输出噪声的大小随频带宽度而变化。将低频带宽度，用一个外部低通滤波器，可以降低噪声，提高信噪比和分

辨率。输出噪声以测量频宽的平方根为基本刻度。而噪声的峰-峰值决定了分辨率的大小。噪声的峰-峰值近似地等于其均方根值的 6.6 倍。（包括 0.1% 的平均不确定因素）。对于一个简单的低通滤波器，它的均方根噪声可以通过公式计算出来：

$$\text{Noise (mg rms)} = \text{Noise(mg}/\sqrt{\text{Hz}}) * \sqrt{(\text{Bandwidth(Hz)} * 1.6)}$$

外部滤波器：

交流耦合器： 对于那些只测量动态加速度（如振动）的应用领域，建议对传感器的输出信号进行交流耦合，如图 7 所示。交流耦合的优点在于它可以排除零点偏置的个体差异以及零点偏置的温漂问题。图 7 是一个典型的 HFP 电路（高通滤波器），它在 -3dB 处的频响为： $f = 1 / 2\pi RC$ 。在许多应用中人们希望将 -3dB 处的频响设置得非常低以便能检测到一些低频加速度。为了达到这一目的设计人员有时会采用不合理的大电容，在此 MEMSIC 建议采用软件高通滤波的方法来实现。

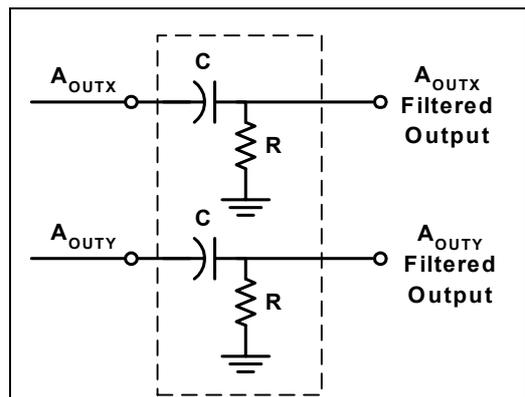


图 7: 高通滤波器

低通滤波器： 对于频响较低的应用领域，如倾角仪或水平尺，可以外加低通滤波器来抑制噪声，提高分辨率。图 8 是一个典型的 LFP 电路（低通滤波器），它在 -3dB 处的频响为：

$$f = 1 / 2\pi RC。$$

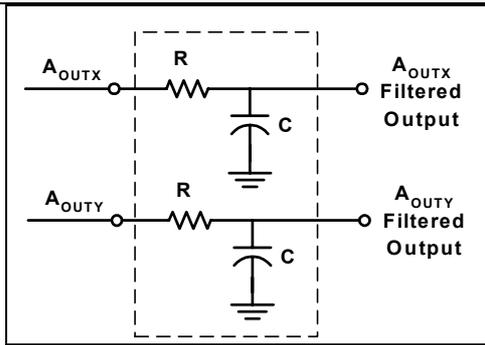


图 8: 低通滤波器

MEMSIC 加速度传感器在低功耗（以电池为电源）应用领域中的使用方法:

在电源功耗受限制的应用领域，采用脉冲供电方式可以延长电池的使用寿命。必须注意的是当采用脉冲供电时器件的测量频宽将受到其开机时间的限制。例如，器件在 3V 供电时的开机时间是 40mS。如我们采用 40mS 开，40mS 关的脉冲供电方式，那么其周期为 40mS（频率为 12.5Hz），也就是说频率为 6.25Hz 的加速度变化可以被检测到。

由于倾角的变化比较缓慢，故在倾角测量的应用领域中，可以有效地采用脉冲供电方式。

频率响应的扩展:

热电耦式加速度传感器的频响是由其内部所用气体的物理特性，热对流原理以及传感器电子学所决定的。由于 MEMSIC 在大批量生产中所使用的气体的特性完全一致，所以可以用一个简单的电路来对所有器件进行相同的补偿。对于大多数应用来说，不需要因为器件的不同而对补偿电路进行调整。

一个简单的补偿网络由两个运算放大器以及一些用于提高增益，提升频率的电阻电容组成(如图 9)。此电路中所用器件为模拟绝对模式输出，电源电压是 5V。放大倍数是 2，所以放大后的零点偏置为 2.5V，同时灵敏度为原先的两倍。与电容 1.5uF，0.01uF 并联的两个电阻 14.3KΩ 及 5.9KΩ 可对网络的增益进行微调以对高频衰减进行补偿。其它电阻电容用于降低噪声。

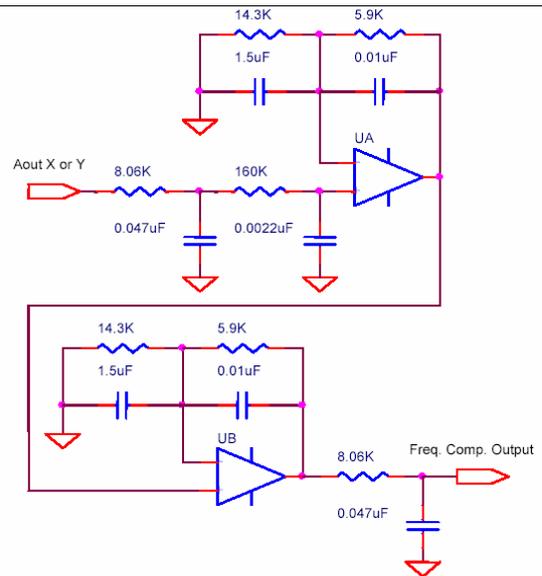


图 9: 频率响应扩展电路

在图10中，最下面一条是加速度传感器的频响曲线；上面一条为扩展网络的频响曲线；中间是补偿以后的频响曲线。在-3dB处的频率超过了100Hz。

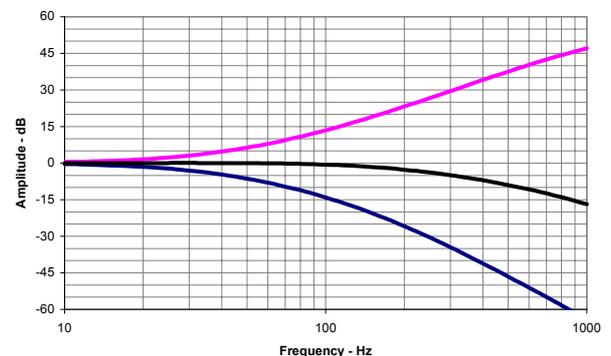


图 10: 幅频特性曲线

结论:

MEMSIC 加速度传感器以其成熟完善的功能、低廉的价格，提供了最可靠的加速度测量方案。