

# SI1000 — 数据表

## 单轴模拟加速度计

SI1000 是一款专为强震 B 级地震测量而设计的高端电容式 MEMS 加速度计。

SI1000 拥有极低噪声、低功耗、宽频率响应、小尺寸（LCC20）密封封装等优点，可确保非常准确和稳定的地震测量，在系统的整个生命周期内无需重新校准或维护。



### 主要特征

- 量程:  $\pm 3, 5\text{ g}$
- 低噪声:  $0.7\ \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$  ( $\pm 3\text{g}$ )
- 带宽:  $0\text{-}550\text{Hz}$  ( $\pm 3\text{g}$ )
- 非线性度:  $\pm 0.3\% \text{ FS}$
- 尺寸:  $< 1\text{cm}^2$
- 嵌入式逻辑功能: 自检、复位

主要参数, 典型值	SI1003	SI1005	Unit
全量程加速度计	$\pm 3$	$\pm 5$	g
白噪声	0.7	1.2	$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
噪声 (从 0.1Hz 到 100Hz)	8	13	$\mu\text{g}$
动态范围 (0.1Hz - 100Hz)	108.5	108.5	dB
比例因子灵敏度	900	540	mV/g
带宽 ( $\pm 3\text{dB}$ )	550	700	Hz
工作温度	-40 to +85	-40 to +85	$^{\circ}\text{C}$
工作能耗	90	90	mW
尺寸	9 x 9	9 x 9	mm <sup>2</sup>

### 特色应用 (非详尽的):

**地震**  
 关键民用设施（大坝、桥梁、建筑）  
 的结构健康监测  
 高密度城市监测网络  
 安全系统

**工业**  
 低噪声工业测量

### SI1003 参数

除非另有说明，所有数值都是在环境温度（20°C）和 3.3 V 供电电压  $V_{DD}$  下测得。加速度值定义为差分信号（OUTP-OUTN）。

参数	说明	最小值	典型值	最大值	单位
<b>加速度计</b>					
全量程		$\pm 3$			g
白噪音	在带宽内		0.7	0.9	$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
噪音	从 0.1Hz 到 100Hz		8		$\mu\text{g}$
动态范围	对于 100Hz 带宽		108.5		dB
非线性度	IEEE 标准，全量程的百分比%		0.3	1	%
频率响应	+3dB	450	550		Hz
谐振频率			1.0		kHz
质量因数			10		a.u
启动时间	传感器正常运行时：若 POR 触发则会延迟		20		$\mu\text{s}$
<b>零偏 (K0)</b>					
标称	校准精度	-10		10	mg
温度系数	测量区间 [-40°C, 85°C]	-0.3		0.3	$\text{mg}/^\circ\text{C}$
<b>比例因子 (K1)</b>					
标称	校准精度	886	900	914	mV/g
温度系数	测量区间 [-40°C, 85°C]		120		$\text{ppm}/^\circ\text{C}$
<b>轴线偏移</b>					
交叉轴耦合				-40	dB
		-10		10	mrاد
<b>自检测</b>					
频率		14	19	24	Hz
工作周期			50		%
振幅			0.25		g
输入阈值电压		80			% $V_{DD}$
<b>温度传感器</b>					
20°C 时的输出电压		1.20	1.23	1.26	V
灵敏度			-4.0		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
输出电流负载				10	$\mu\text{A}$
输出电容负载				10	pF
<b>复位</b>					
输入阈值电压	低电平有效			20	% $V_{DD}$
<b>电源要求</b>					
供电电压 ( $V_{DD}$ )		3.2	3.3	3.4	V
供电电流 ( $I_{DD}$ )		22	27	32	mA
<b>加速度计输出</b>					
输出电压	在全量程内 OutP, OutN	0.14		3.16	V
差分输出	在全量程内		$\pm 2.7$		V
电阻负载		1000			k $\Omega$
电流负载				100	pF

表 1: SI1003 规格

## SI1005 PARAMETERS

除非另有说明，所有数值都是在环境温度（20°C）和 3.3 V 供电电压  $V_{DD}$  下测得。加速度值定义为差分信号（OUTP-OUTN）。

参数	说明	最小值	典型值	最大值	单位
<b>加速度计</b>					
全量程		$\pm 5$			g
白噪音	在带宽内		1.2	1.5	$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
噪音	从 0.1Hz 到 100Hz		13		$\mu\text{g}$
动态范围	对于 100Hz 带宽		108.5		dB
非线性度	IEEE 标准，全量程的百分比%		0.3	1	%
频率响应	+3dB	600	700		Hz
谐振频率			1.3		kHz
质量因数			10		a.u
启动时间	传感器正常运行时，若 POR 触发则会延迟		20		$\mu\text{s}$
<b>零偏 (K0)</b>					
标称	校准精度	-17		17	mg
温度系数	测量区间 [-40°C, 85°C]	-0.5		0.5	$\text{mg}/^\circ\text{C}$
<b>比例因子 K1)</b>					
标称	校准精度	531	540	549	mV/g
温度系数	测量区间 [-40°C, 85°C]		120		$\text{ppm}/^\circ\text{C}$
<b>轴线偏移</b>					
交叉轴耦合				-40	dB
		-10		10	mrاد
<b>自检测</b>					
频率		14	19	24	Hz
工作周期			50		%
振幅			0.5		g
输入阈值电压		80			% $V_{DD}$
<b>温度传感器</b>					
20°C 时的输出电压		1.20	1.23	1.26	V
灵敏度			-4.0		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
输出电流负载				10	$\mu\text{A}$
输出电容负载				10	pF
<b>复位</b>					
输入阈值电压	低电平有效			20	% $V_{DD}$
<b>电源要求</b>					
供电电压 ( $V_{DD}$ )		3.2	3.3	3.4	V
供电电流 ( $I_{DD}$ )		22	27	32	mA
<b>加速度计输出</b>					
输出电压	在全量程内 OutP, OutN	0.14		3.16	V
差分输出	在全量程内		$\pm 2.7$		V
电阻负载		1000			k $\Omega$
电容负载				100	pF

表 2: SI1005 规格

## 最大绝对额定值

最大绝对额定值是压力额定值。超过这些额定值的应力可能造成器件永久性损坏。器件长时间的暴露在最大绝对额定值时，可能会降低其性能，并且影响其可靠性。

参数	说明	最小值	典型值	最大值	单位
供电电压 (V <sub>DD</sub> )		-0.3		+3.9	V
所有管脚的电压值		-0.3		V <sub>DD</sub> +0.3	V
运行温度		-40		85	°C
储存温度		-55		125	°C
振动	随机 / 20-2'000Hz			20	g
冲击	单次冲击 / 0.15ms			1'500	g
静电放电(ESD)应力	HBM 模型	-1		1	kV

表 3: 最大绝对额定值

# 典型性能特征

**SI1003:** 所有图表都是在 3.3 V 直流供电电压 ( $V_{DD}$ ) 和环境温度的条件下, 多个传感器的典型初始性能, 除非另有说明 (多个传感器: 多条彩线/ 最小值/最大值: 红线 / 典型值: 绿线)。

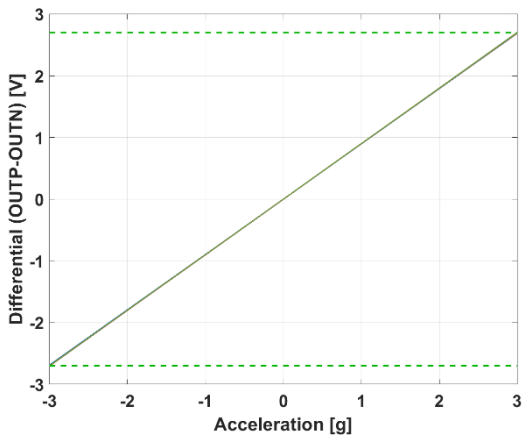


图 1: 在整个量程范围内差分加速度输出 (OUTP-OUTN)

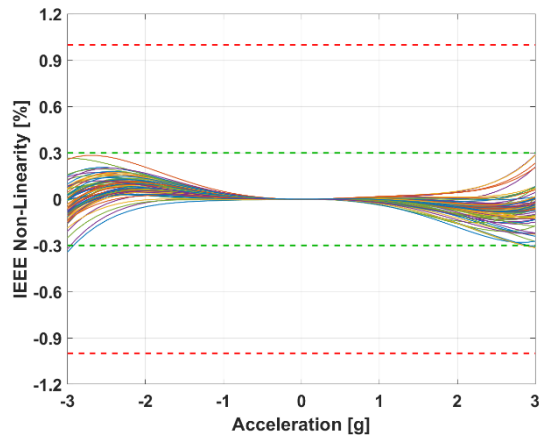


图 2: 非线性度 IEEE

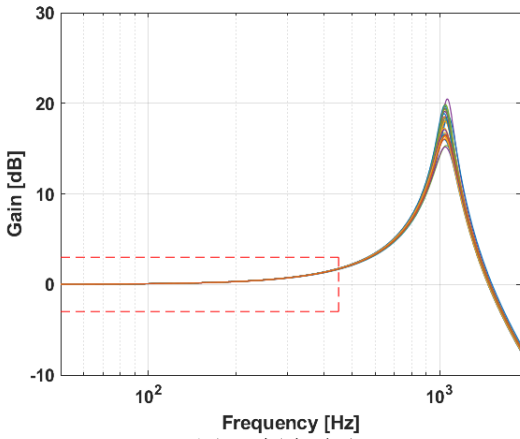


图 3: 频率响应

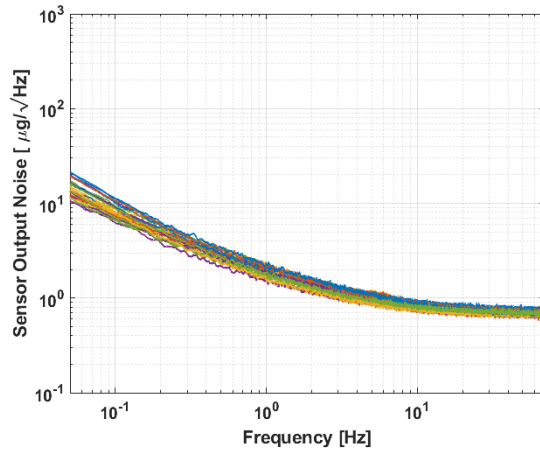


图 4: 噪音频谱

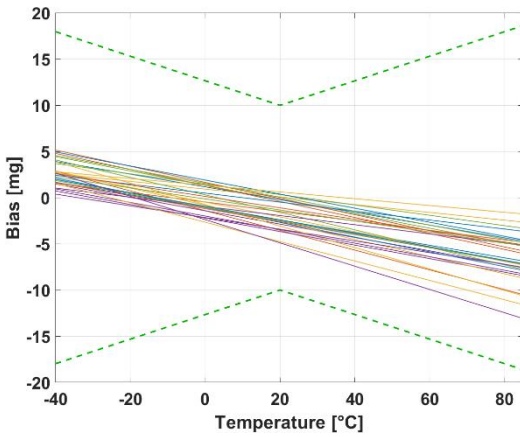


图 5: 随温度变化的零偏

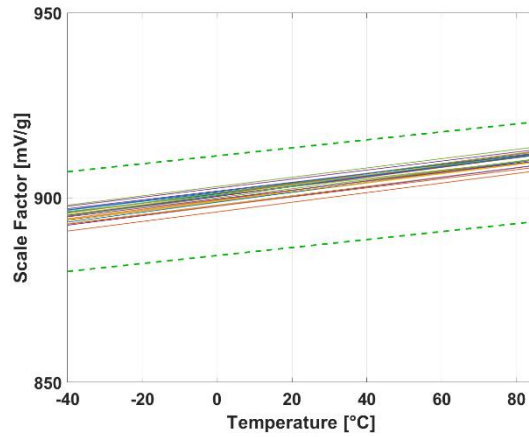


图 6: 随温度变化的比例因子

**SI1005:** 所有图表都是在 3.3 V 直流供电电压 ( $V_{DD}$ ) 和环境温度的条件下, 多个传感器的典型初始性能, 除非另有说明 (多个传感器: 多条彩线/ 最小值/最大值: 红线 / 典型值: 绿线)。

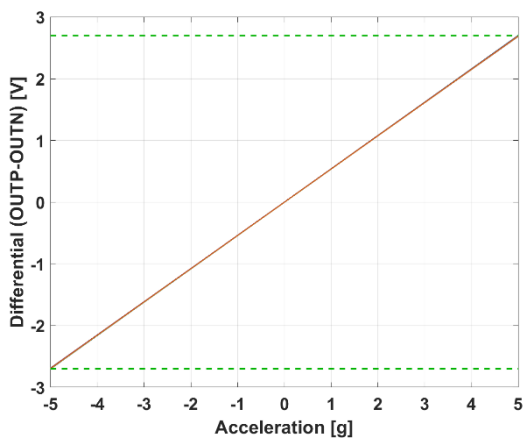


图 7: 在整个量程范围内差分加速度输出 (OUTP-OUTN)

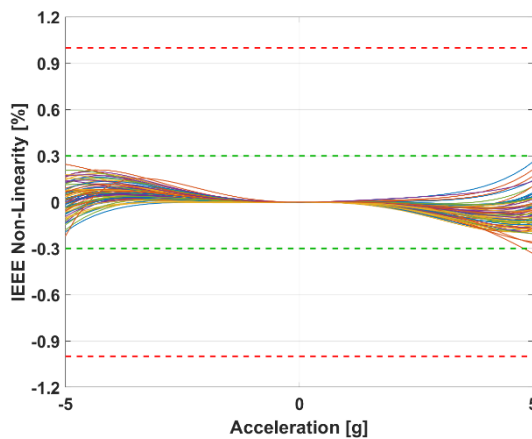


图 8: 非线性度 IEEE

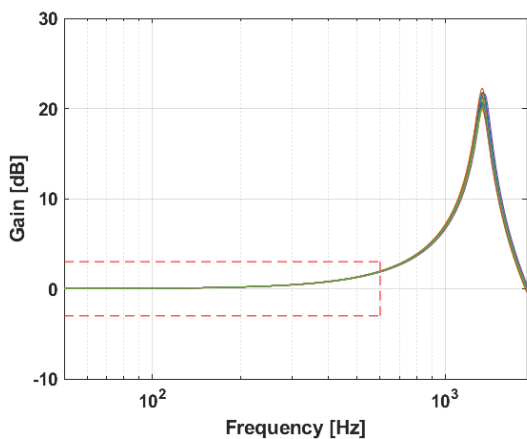


图 9: 频率响应

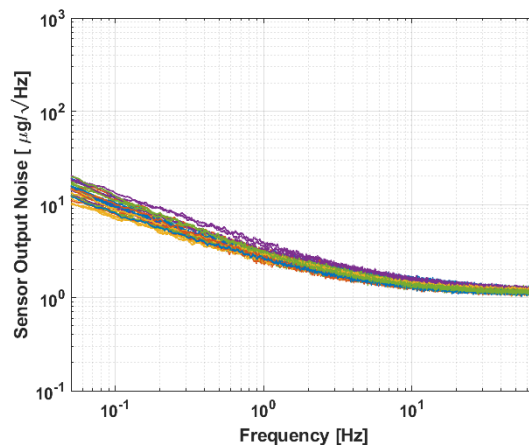


图 10: 噪音频谱

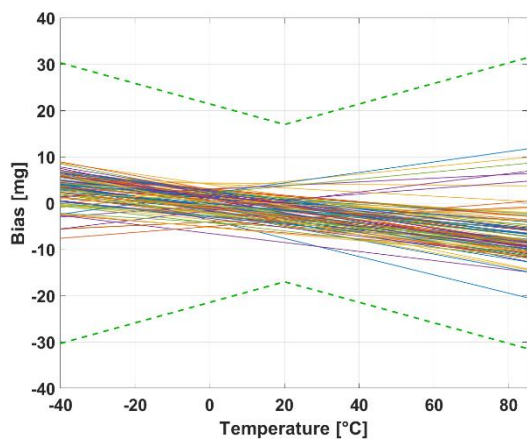


图 11: 随温度变化的零偏

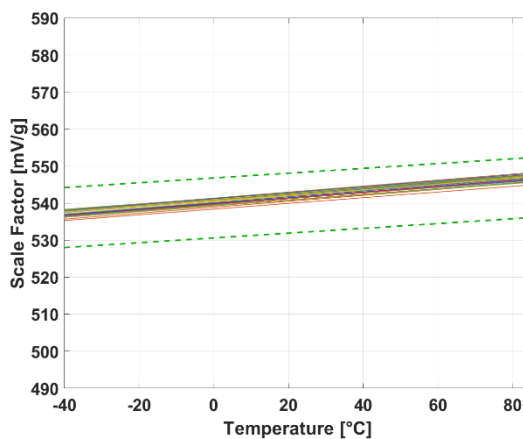


图 12: 随温度变化的比例因子

# 引脚说明

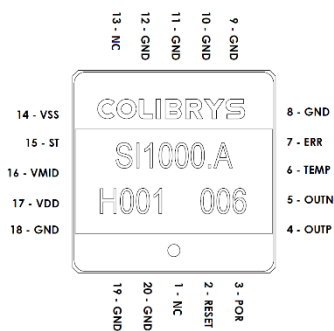


图 13: 引脚俯视图

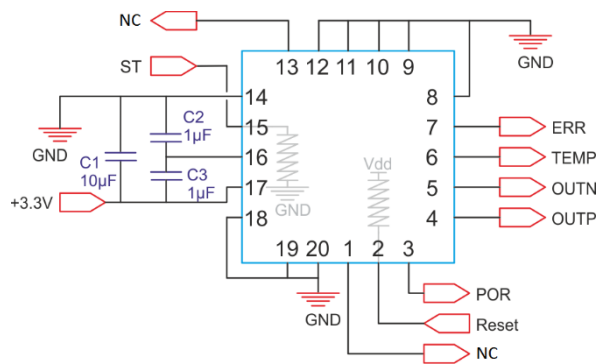


图 14: 邻近电路 & 内部上拉/下拉 (pull-up/down)

图 13 显示了该器件的引脚布局，表 4 是每个引脚的说明。图 14 显示了电容 C1 (10µF)、C2 (1µF) 和 C3 (1µF)，它们必须尽可能放置在靠近 SI1000 封装外壳，被作为去耦电容以保证传感器正常启动。

引脚号	引脚名	类型	说明
2	RESET	LI, PU	系统复位信号，低电平有效
3	POR	LO	上电复位，低电平有效
4	OUTP	AO	差分输出正极信号
5	OUTN	AO	差分输出负极信号
6	TEMP	AO	温度模拟输出
7	ERR	LO	错误信号，高电平有效
14	V <sub>SS</sub> (0 V)	PWR	接地平面
15	ST	LI, PD	自检测激活，高电平有效
16	V <sub>MID</sub>	AO	内部电路参考电压。仅适用于去耦电容
17	V <sub>DD</sub> (3.3 V)	PWR	供电
1, 13	NC	NC	不要连接
8,9,10,11,12,18,19,20	GND	GND	必须接地 (GND)

*PWR, 电源 / AO, 模拟输出 / AI, 模拟输入 / NC, 不要连接*  
*LO, 逻辑输出 / DI, 逻辑输入 / PD, 内部下拉 / PU, 内部上拉*

表 4: SI1000 引脚说明

# 电功能说明

## 简介

SI1000 具有嵌入式电气逻辑功能，如上电复位、外部复位、错误功能和内置自检。此外，也描述了传感器的饱和度。

## POR (上电复位) 功能

POR 模块在传感器启动和正常操作期间持续监测供电。它保证了传感器的正常启动并当供电电压不足时起到欠压保护作用。

在传感器上电期间，POR 信号保持低位直到供电电压达到阈值电压 ( $V_{TH}$ )，然后开始启动序列（见图 15）。在供电电压下降的情况下，POR 信号将保持低位，直到供电电压超过阈值电压  $V_{TH}$ ，随后是一个新的启动序列。该 ERR 信号为高位（等于  $V_{DD}$ ），直到启动序列完成。

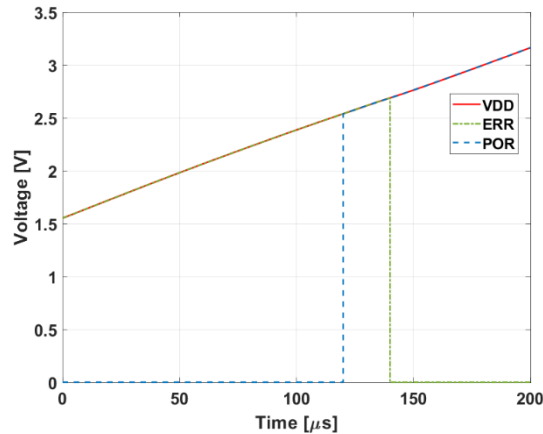


图 15: 使用推荐电路时典型的传感器上电序列

## 外部复位

用户可通过 RESET 输入管脚激活外部复位。在复位过程中，加速度传感器输出(OUTP & OUTN) 被强制变为  $V_{DD}/2$ ，错误信号 (ERR) 被激活 (高)，见图 16。

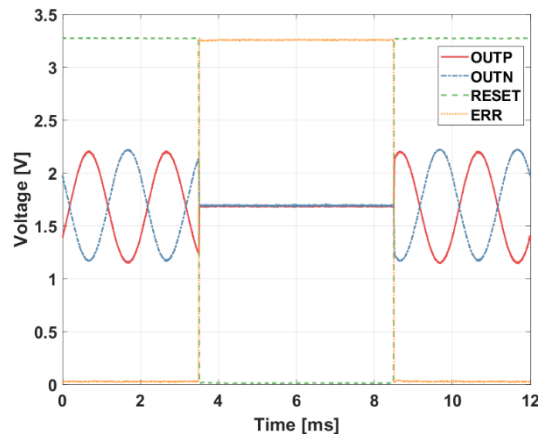


图 16: 典型的传感器重启序列（外部复位）

## 错误功能

该器件持续监控加速度计输入的有效性。在以下情况下，可能会引发错误：

- 超出容差的电源电压（POR 低），例如在上电期间
- 在外部复位阶段（用户激活复位，见图 16）



## 内置自检测功能

内置的自检测模式产生关于设备输出的方波信号（OUTP&OUTN），并且可以用于设备故障检测(见图 17)。

当自检模式被激活时，它在机械传感元件上引起一个交变电场力，模拟一个指定频率的加速度输入。这种自检过程中的电场力是在任何传感器惯性力之外的；因此，建议在静态条件下使用自测试功能。

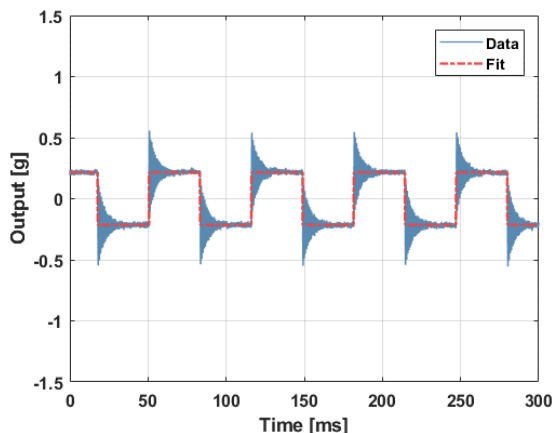


图 17: 内置自检测信号的差分加速度输出 (频率≈19Hz / 振幅≈±0.25g)

## 传感器饱和和度

在高振幅加速度输入时，传感器的饱和度约为其满量程加速度的 1.2 倍。此行为如下图所示：

- 传感器检测到加速度达到饱和状态。
- 当饱和结束时，传感器恢复到标称加速度感应。

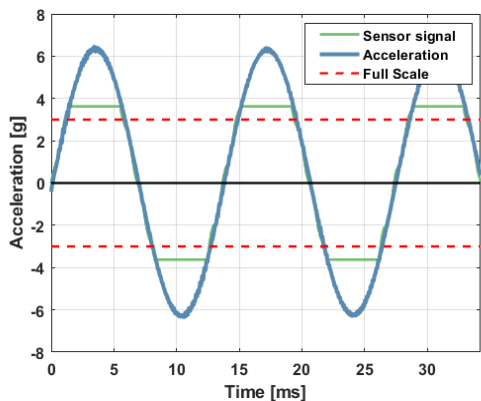


图 18: 6g 正弦波下的 3g 传感器行为

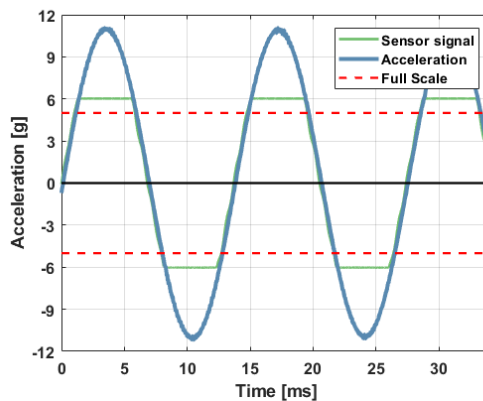


图 19: 5g 传感器对 11g 正弦波的响应

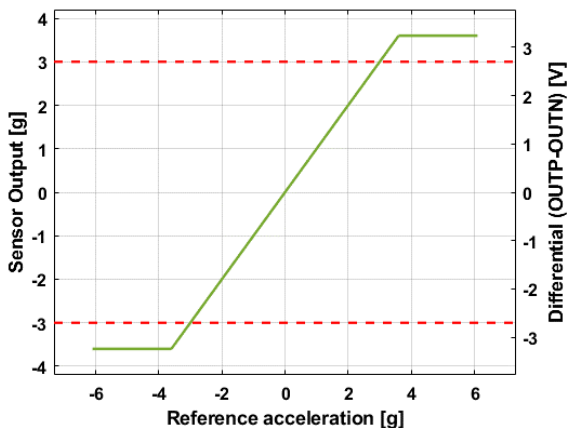


图 20: SI1003 与参照传感器的对比

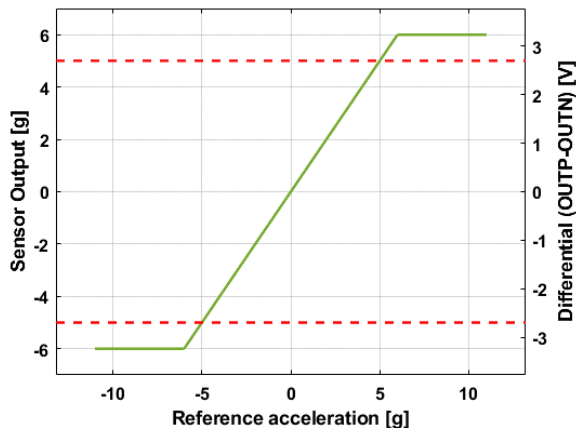


图 21: SI1005 与参照传感器的对比

# 尺寸和包装规格

图 22 说明了 LCC20 陶瓷封装的外形和质量块(●)的重心。

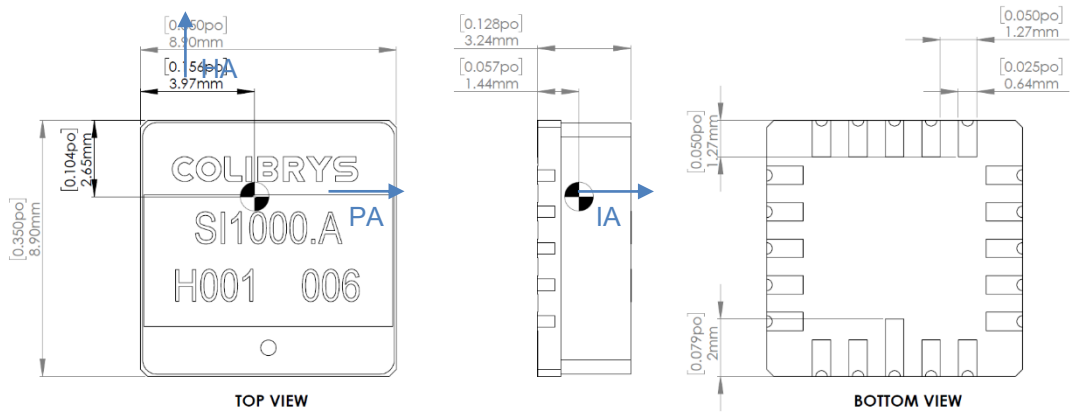


图 22: 包装外形尺寸, 单位是 mm [inch]

参数	说明	Min	Typ	Max	Unit
引脚加工	镀金	0.5		1.5	μm
	镀镍	1.27	4	8.89	μm
	W (钨)	10		15	μm
气密	根据 MIL-STD-883-G 标准			5·10 <sup>-8</sup>	atm·cm <sup>3</sup> /s
重量				1.5	grams
尺寸	X		8.9	9.2	mm
	Y		8.9	9.2	mm
	Z		3.23	3.5	mm
封装	符合 RoHS 标准, 无磁性, LCC20 引脚外壳				
邻近效应	该传感器对外界寄生电容较敏感。确保最佳的产品性能, 应该避免大的金属物体在加速度传感器附近移动, 或是避免寄生效应(毫米范围)。我们推荐在加速传感器的下方使用一块接地平面作为屏蔽。				
轴对准参考平面	LCC 必须紧密地固定在电路板上, 使用壳体底部作为轴对准参考平面。使用封装壳盖作为参考平面或组装可能会影响产品的指标和可靠性(例如: 轴对准, 和/或壳盖焊接的完整性)。				

表 5: 包装规格

## 推荐电路

为了获得最佳的器件性能，特别要注意邻近的模拟电子器件。推荐电路包括一个基准电压，传感器去耦电容器和输出缓冲（见图 23）。

优化的加速度测量通过使用差分输出( $OUTP_B - OUTN_B$ )实现。若需要获得单端加速度信号，必须从差分加速度输出中获得，这样可去除共模噪声。

### 框图 & 原理图

特别需要注意的主要框图是：供电电源管理，加速度传感器电子及输出缓冲器。

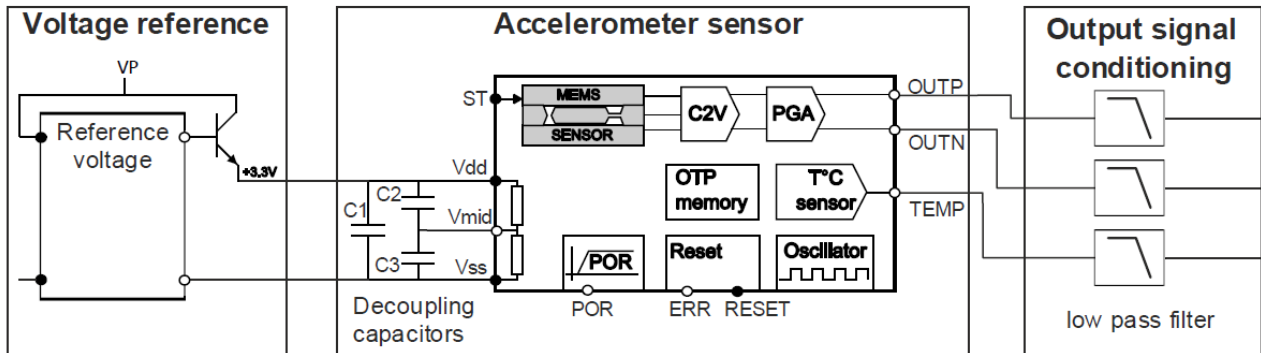


图 22: 推荐的框图

### 基准电压源

加速度计输出与基准电压成比例，其性能将直接影响加速度计的性能。因此，我们推荐使用一个低噪声、高稳定性和低热漂移的基准电压源。为获得最佳性能，敏感轴上的加速度应表示为：

$$A_s = \frac{OUT_P - OUT_N}{VDD} * 3.3$$

加速度计内部的电路基于一个开关电容架构。高频噪声或基准电压源上的尖峰将影响输出，并诱导元件带宽范围内的信号。

基准电压源的关键性能应为：

- 带内输出噪声 <math>< 0.3 \mu V / \sqrt{Hz}</math>
- 高频输出 <math>< 1 \mu V / \sqrt{Hz}</math> 至 10MHz
- 输出温度系数 <math>< 10\text{ppm}/^\circ\text{C}</math>

### 加速度传感器

传感器模块由 SI1000 加速度计及 3 个去耦电容组成：C1 [10 $\mu$ F]，C2 [1 $\mu$ F] 及 C3 [1 $\mu$ F]。这些电容器对于加速度计的正常运行和充分发挥性能是必需的。我们建议将它们放置在电路板上尽可能靠近 SI1000 封装的位置。

### 输出信号调理

在数据采集之前，必须对输出信号进行正确的滤波和缓冲。我们建议使用与 SI1000 输出阻抗匹配的超低失调，漂移和零偏电流运算放大器和二阶低通滤波器（LPF），以防止高频噪声信号的混叠。具有 6 kHz 截止频率的二阶滤波器将使 340 kHz 和 1 MHz 的噪声衰减 70dB。

另外，需要应用与采样频率相匹配的一个抗混叠低通滤波器。

# SMD（表面贴装器件）推荐

图 24 显示了一个推荐的 LCC20 焊板图案，还应在制造过程中进行测试和验证。焊盘图案和焊盘尺寸的间距为 1.27mm，并且引脚 1 更长以确保安装过程中产品的正确方向。组装后，可以从顶部控制定向，其中打印在盖上的额外点对应于引脚 1。

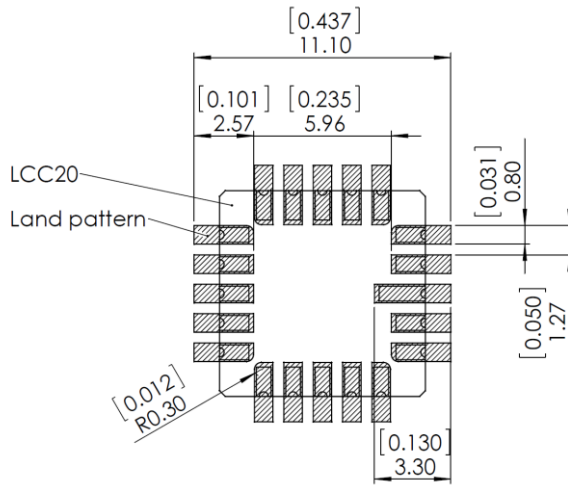


图 23 : LCC20 焊板图案推荐 (单位是 mm/[inch])

The SI1000 适用锡铅焊料(Sn/Pb) 和无铅焊接，并符合 ROHS 标准。可以使用其焊料制造商推荐的典型温度曲线，最大上升速度为 3°C /秒，最大下降速度为 6°C /秒：精确的曲线取决于使用的焊膏。

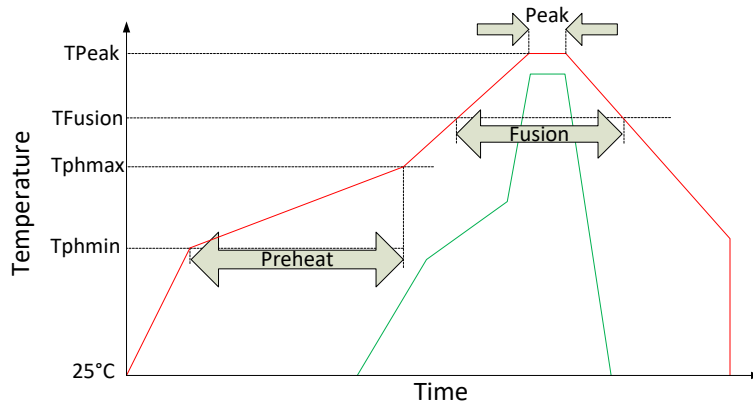


图 24: 焊接温度曲线

阶段	锡铅焊料(Sn/Pb)		无铅	
	持续时间 [秒]	温度 [°C]	持续时间 [秒]	温度 [°C]
峰值	10-30	235-240	20-40	245-250
熔化	60-150	183	60-150	217
预热	60-120	最小值：100 最大值：150	60-180	最小值：150 最大值：200

表 6: 焊接温度 & 时间

电路板的清洗过程有时涉及超声波。强烈禁止在我们的传感器上使用超声波。超声波清洗将对硅元件产生负面影响，这通常会导致损坏。



注意：为避免损害 MEMS 加速度计，禁止超声波清洗。

# 操作和包装注意事项

## 操作

SI1000 封装在一个气密陶瓷壳体中用来保护传感器接触外界环境。然而，该产品的使用不当可能会引起气密密封（玻璃料）或由脆性材料制成的陶瓷壳体（氧化铝）的损坏。它还会引起 MEMS 加速度传感器内部不可见的损坏，并造成电气故障或可靠性问题。操作该产品时要注意：冲击可能会损坏该产品，例如将加速度传感器掉落在坚硬的表面。



**强烈建议使用真空笔操作加速度计**

该产品很容易因为静电放电(ESD)而受到损坏。因此，在制造、测试、包装、装运和处理的各个阶段，应采取适当的预防措施。加速度传感器将被放置在一个具有防静电警告标签的防静电袋中，它们应该保留在这个包装中知道使用时才取出来。建议遵守以下准则：

- 始终在有静电防护控制的环境中进行操作
- 始终将器件存放在一个有屏蔽的环境中，以防止静电损坏（至少是一个防静电托盘和一个防静电袋）
- 操作器件时，一定要戴上腕带，并使用防静电安全手套。

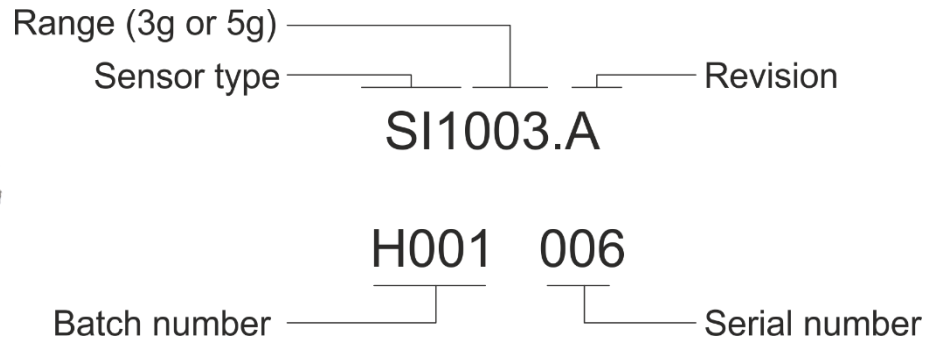


**该产品会被静电放电（ESD）所损坏。请采取适当的预防措施。**

## 包装

我们的器件放置在托盘中进行装运和 SMD 处理。它们包装在密封的防静电内袋中。我们强烈建议将我们的器件保留在原始的 OEM 密封 ESD 内袋中，以保证焊接前的存储条件。

## 产品识别标记



## 订购信息

说明	产品	量程
单轴模拟 MEMS 加速度计 	SI1003.A	±3g
	SI1005.A	±5g

# 数据表的术语词汇表

## 加速度计模型

$$\frac{OUT_P - OUT_N}{VDD} * 3.3 = K_1(K_0 + A_s + K_2 \cdot A_s^2 + K_3 \cdot A_s^3 + K_p \cdot A_p + K_h \cdot A_h + K_{sp} \cdot A_s A_p + K_{sh} \cdot A_s A_h + E)$$

$A_s, A_p, A_h$  是传感器的每个轴的加速度:

输入轴 (IA): 敏感轴

垂悬轴 (PA): 与校准质量梁对齐, 垂直于输入轴

铰链轴 (HA): 垂直于输入和垂悬轴, 点的方向。

$K_1$  是加速度计比例因子 [V/g]

$K_0$  是零偏 [g]

$K_2$  是二阶非线性 [g/g<sup>2</sup>]

$K_3$  是三阶非线性 [g/g<sup>3</sup>]

$K_p$  是摆式交叉轴 [rad]

$K_h$  是输出横轴 [rad]

$K_{sp}, K_{io}$  是交叉耦合系数 [rad/g]

$E$  是残留噪音 [g]

## g [m/s<sup>2</sup>]

加速度的单位, 相当于地球重力的标准值(赛峰传感技术瑞士公司提供, 使用的加速度传感器规格和数据是 9.80665 m/s<sup>2</sup>)。

## 动态范围 [dB]

Ratio of rms largest sine to rms self-noise – Root of PSD via Welch method.

均方根最大正弦波与均方根噪声之比 - 通过韦尔奇方法得出的 PSD 根。

$$Dynamic\ range\ [dB] = 20\log\left[\frac{Range[g] / \sqrt{2}}{Integrated\ Noise\ 0.1Hz\ to\ 100Hz\ [g]}\right]$$

使用抗混叠滤波器在 200sps 下进行采集,  $f_{corner}$  为  $0.8 * f_{Nyquist}$ , 阻带至少比通带低 120dB。

## 噪音 [ $\mu$ g/ $\sqrt{Hz}$ ]

加速度输出信号中的不希望有的扰动, 与预期输入加速度不相关

## 零偏 [mg]

加速度传感器在加速度  $g$  为零时的输出值。

## 比例因子 [mV/g]

输出信号的变化(电压 V)与单位输入信号(加速度单位 g)变化之比; 表示为: mV/g。

## 温度灵敏度

在工作温度下, 通常指定为 20°C, 某一给定参数(比例因子、零偏、或轴偏)对温度的敏感程度。表示为每一度温度变化时的特征变化; 一个符号量, 通常用 ppm /°C 表示比例因子的温度灵敏度, 用 mg/°C 表示零偏的温度灵敏度。作为建模没有完成前的一个变量, 这个数值对于预测比例因子随温度变化的最大误差是有用的。

## 非线性度, IEEE [% FS]

最大绝对误差 VS 满量程加速度:

$$NL_{IEEE\ max} \equiv \left| \frac{V - K_1(K_0 + A_s)}{K_1 A_{FS}} \right|_{max} = \left| \frac{K_2 A_s^2 + K_3 A_s^3 + \dots}{A_{FS}} \right|_{max}$$

## 频率响应 [Hz]

频率范围, 从直流电到指定值时频率响应幅值的变化小于  $\pm 3$ dB。

# 质量

赛峰传感技术瑞士公司具有 ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 和 ISO 45001:2018 认证。

赛峰传感技术瑞士公司符合欧盟关于化学品规则以及他们的安全使用法规 (EC 1907/2006) REACH。

SI1000 产品符合 EU-RoHS 指令 2011/65/EC (有害物质限用) 规则。

回收: 请用适当的电气和电子组件回收过程(DEEE)

SI1000 产品均符合瑞士 LSPPro: 930.11, 致力于产品的安全性。

## Note:

- SI1000 加速度计只销售给给专业人士。
- *Les accéléromètres SI1000 ne sont disponibles à la vente que pour des clients professionnels*
- *Die Produkte der Serie SI1000 sind nur im Vertrieb für kommerzielle Kunden verfügbar*
- *Gli accelerometri SI1000 sono disponibili alla vendita soltanto per clienti professionisti*

赛峰传感技术瑞士公司符合《欧盟冲突矿产条例》(EU Conflict Minerals Regulation) 的尽职调查要求。





# 免责声明

赛峰传感技术瑞士公司(SSTS) 保留在未另行通知的情况下对产品进行更改的权力。

由于应用和集成的不同，性能可能与 SSTS 数据表中提供的规格有所不同。工作性能，包括长期可重复性，必须由客户的技术专家针对每个客户应用进行验证。数据表中表示的长期可重复性规格仅在定义的环境条件下有效(参见长期可重复性术语表)，系统级性能仍由客户负责。

应用于产品的脱金工艺不包括在 SSTS 建议中。如果适用，取消任何产品的保修和责任。

在超出数据表中规定的环境参数的环境中使用产品将使任何保修失效。赛峰传感技术瑞士公司特此明确表示，在超出数据表中规定的环境参数的环境中使用产品将不承担任何责任。



Safran Sensing Technologies Switzerland  
sales@sensorway.cn