

特性

具有最小/最大规格的出色零g偏置精度和稳定性
超低功耗： $V_S = 2.5\text{ V}$ 时(典型值)，测量模式下低至 $45\text{ }\mu\text{A}$ ，
待机模式下为 $0.1\text{ }\mu\text{A}$
功耗随带宽自动按比例变化
用户可选的分辨率
10位固定分辨率
全分辨率，分辨率随g范围提高而提高， $\pm 8\text{ g}$ 时高达13位(在
所有g范围内保持 2 mg/LSB 的比例系数)
嵌入式、32级FIFO缓冲器可将主机处理器的负载降至最低
单击/双击检测和自由落体检测
活动/非活动监控
电源电压范围： 2.0 V 至 3.6 V
I/O电压范围： 1.7 V 至 V_S
SPI(3线式和4线式)和I²C数字接口
灵活的中断模式，可映射到任一中断引脚
通过串行命令可选测量范围
通过串行命令可选带宽
宽温度范围(-40°C 至 $+85^\circ\text{C}$)
抗冲击能力： $10,000\text{ g}$
无铅/符合RoHS标准
小而薄： $4\text{ mm} \times 3\text{ mm} \times 1.2\text{ mm}$ 空腔LGA封装

应用

便携式消费电子设备
高性能医疗和工业应用

概述

高性能ADXL350是一款小尺寸薄型低功耗3轴加速度计，具有高分辨率(13位)和高达 $\pm 8\text{ g}$ 的可选测量范围。ADXL350提供业界领先的噪声和温度性能，保证应用的鲁棒性，所需校准工作量极小。数字输出数据为16位二进制补码格式，可通过SPI(3线或4线)或者I²C数字接口访问。

ADXL350非常适合高性能便携式应用。它可以在倾斜检测应用中测量静态重力加速度，还可以测量运动或冲击导致的动态加速度。它具有高分辨率(2 mg/LSB)，能够分辨不到 1.0° 的倾斜度变化。

该器件提供多种特殊检测功能。活动和非活动检测功能检测有无运动发生，以及任意轴上的加速度是否超过用户设置的限值。敲击检测功能可以检测单击和双击动作。自由落体检测功能可以检测器件是否正在掉落。这些功能可以映射到两个中断输出引脚中的一个。

低功耗模式支持基于运动的智能电源管理，从而以极低的功耗进行阈值感测和运动加速度测量。

ADXL350采用 $3\text{ mm} \times 4\text{ mm} \times 1.2\text{ mm}$ 、16引脚小型空腔层压封装。

功能框图

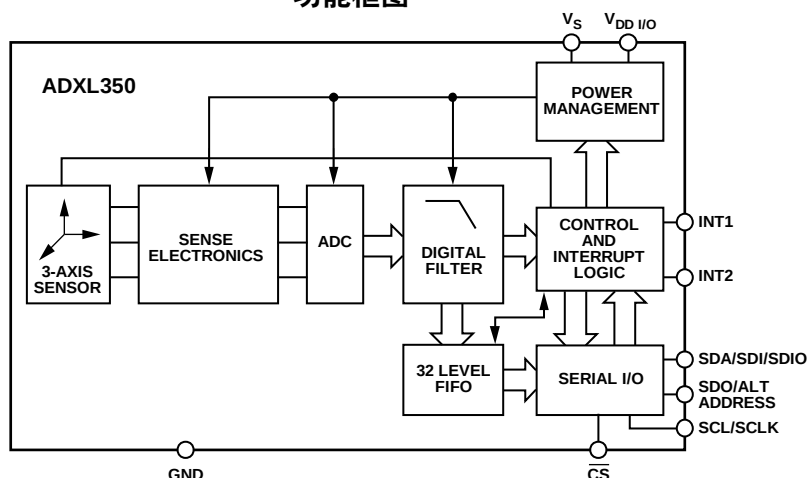


图1.

Rev. 0

Document Feedback

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 ©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
Technical Support www.analog.com

目录

特性.....	1	中断	21
应用.....	1	FIFO.....	21
概述.....	1	自测	22
功能框图.....	1	寄存器映射.....	23
修订历史.....	2	寄存器定义	24
技术规格.....	3	应用信息.....	28
绝对最大额定值.....	4	电源去耦.....	28
热阻	4	机械安装注意事项	28
封装信息.....	4	敲击检测.....	28
ESD警告.....	4	阈值	29
引脚配置和功能描述.....	5	链接模式.....	29
典型性能参数.....	6	休眠模式与低功耗模式	29
工作原理.....	14	偏移校准.....	29
电源时序.....	14	使用自测.....	30
省电功能.....	15	加速度灵敏度轴.....	32
串行通信.....	16	布局和设计建议.....	33
SPI	16	外形尺寸	34
I ² C.....	19	订购指南.....	34

修订历史

2012年9月—修订版0：初始版

技术规格

除非另有说明， $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ ， $V_S = 2.5\text{ V}$ ， $V_{DD I/O} = 2.5\text{ V}$ ，加速度 = 0 g ， $C_{IO} = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ 。保证所有最低和最高技术规格。

不保证典型技术规格。

表1.

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
传感器输入	各轴				
测量范围	用户可选		$\pm 1, \pm 2, \pm 4, \pm 8$		g
非线性度	满量程百分比		± 0.5		%
轴间对齐误差			± 0.1		度
跨轴灵敏度 ¹			± 3		%
输出分辨率	各轴				
所有 g 范围	10位分辨率		10		Bits
$\pm 1\text{ g}$ 范围	全分辨率		10		Bits
$\pm 2\text{ g}$ 范围	全分辨率		11		Bits
$\pm 4\text{ g}$ 范围	全分辨率		12		Bits
$\pm 8\text{ g}$ 范围	全分辨率		13		Bits
灵敏度	各轴				
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 、 Z_{OUT} 灵敏度	任何 g 范围，全分辨率	473.6	512	550.4	LSB/ g
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 和 Z_{OUT} 比例因子	任何 g 范围，全分辨率	1.80	1.95	2.10	mg/LSB
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 、 Z_{OUT} 灵敏度	$\pm 1\text{ g}$ ，10位分辨率	473.6	512	550.4	LSB/ g
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 和 Z_{OUT} 比例因子	$\pm 1\text{ g}$ ，10位分辨率	1.80	1.95	2.10	mg/LSB
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 、 Z_{OUT} 灵敏度	$\pm 2\text{ g}$ ，10位分辨率	236.8	256	275.2	LSB/ g
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 和 Z_{OUT} 比例因子	$\pm 2\text{ g}$ ，10位分辨率	3.61	3.91	4.21	mg/LSB
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 、 Z_{OUT} 灵敏度	$\pm 4\text{ g}$ ，10位分辨率	118.4	128	137.6	LSB/ g
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 和 Z_{OUT} 比例因子	$\pm 4\text{ g}$ ，10位分辨率	7.22	7.81	8.40	mg/LSB
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 、 Z_{OUT} 灵敏度	$\pm 8\text{ g}$ ，10位分辨率	59.2	64	68.8	LSB/ g
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 和 Z_{OUT} 比例因子	$\pm 8\text{ g}$ ，10位分辨率	14.45	15.63	16.80	mg/LSB
温度引起的灵敏度变化			± 0.01		%/ $^{\circ}\text{C}$
0 g 偏置	各轴				
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 的0 g 输出		-150	± 50	+150	Mg
Z_{OUT} 的0 g 输出		-250	± 75	+250	Mg
0 g 偏移与温度的关系(X轴和Y轴) ²		-0.31	± 0.17	+0.31	mg/ $^{\circ}\text{C}$
0 g 偏移与温度的关系(Z轴) ²		-0.49	± 0.24	+0.49	mg/ $^{\circ}\text{C}$
噪声性能					
噪声(X轴和Y轴)	100 Hz数据速率，全分辨率		1.1		LSB rms
噪声(Z轴)	100 Hz数据速率，全分辨率		1.7		LSB rms
输出数据速率和带宽	用户可选				
测量速率 ³		6.25		3200	Hz
自测 ⁴	数据速率 $\geq 100\text{ Hz}$ ， $2.0 \leq V_S \leq 3.6$				
X轴上的输出变化		0.2		2.1	g
Y轴上的输出变化		-2.1		-0.2	g
Z轴上的输出变化		0.3		3.4	g
电源					
工作电压范围(V_S)		2.0	2.5	3.6	V
接口电压范围($V_{DD I/O}$)		1.7	1.8	V_S	V
电源电流	数据速率 $> 100\text{ Hz}$		166		μA
	数据速率 $> 10\text{ Hz}$		45		μA
待机模式漏电流			0.1	2	μA
开启时间 ⁵	数据速率 = 3200 Hz		1.4		ms
工作温度范围		-40		+85	$^{\circ}\text{C}$

¹ 跨轴灵敏度定义为任意两轴之间的耦合。

² 偏移与温度关系的最小值和最大值规格通过特性保证，代表平均 $\pm 3\sigma$ 分布。

³ 带宽为输出数据速率的一半。

⁴ 自测变化定义为SELF_TEST位 = 1(DATA_FORMAT寄存器中)时的输出(g)减去SELF_TEST位 = 0(DATA_FORMAT寄存器中)时的输出(g)。由于器件滤波作用，使能或禁用自测时，输出在 $4 \times \tau$ 后达到最终值，其中 $\tau = 1/(\text{数据速率})$ 。

⁵ 开启和唤醒时间取决于用户定义的带宽。在100 Hz数据速率时，开启时间和唤醒时间大约为11.1 ms。其他数据速率时，开启时间和唤醒时间大约为 $\tau + 1.1\text{ ms}$ ，其中 $\tau = 1/(\text{数据速率})$ 。

绝对最大额定值

表2.

参数	额定值
加速度	
任意轴，无电	10,000 g
任意轴，有电	10,000 g
V_s	-0.3 V至+3.6 V
$V_{DD I/O}$	-0.3 V至+3.6 V
数字引脚	-0.3 V至 $V_{DD I/O} + 0.3$ V或3.6 V，取较小者
所有其它引脚	-0.3 V至+3.6 V
输出短路持续时间 (任意引脚接地)	不定
温度范围	
有电	-40°C至+105°C
存储	-40°C至+105°C

注意，超出上述绝对最大额定值可能会导致器件永久性损坏。这只是额定最值，并不能以这些条件或者在任何其它超出本技术规范操作章节中所示规格的条件下，推断器件能否正常工作。长期在绝对最大额定值条件下工作会影响器件的可靠性。

热阻

表3. 封装特性

封装类型	θ_{JA}	θ_{JC}	器件重量
16引脚LGA_CAV	150°C/W	85°C/W	20 mg

封装信息

图2和表4中的信息提供了ADXL350封装标识的详情。产品供货的完整列表请参阅“订购指南”部分。



图2. 产品封装信息(顶视图)

表4. 封装标识信息

标识码	字段说明
XL350B	ADXL350器件标识符
yw	日期代码
VVVV	工厂批次代码

ESD警告



ESD(静电放电)敏感器件。
带电器件和电路板可能会在没有察觉的情况下放电。尽管本产品具有专利或专有保护电路，但在遇到高能量ESD时，器件可能会损坏。因此，应当采取适当的ESD防范措施，以避免器件性能下降或功能丧失。

引脚配置和功能描述

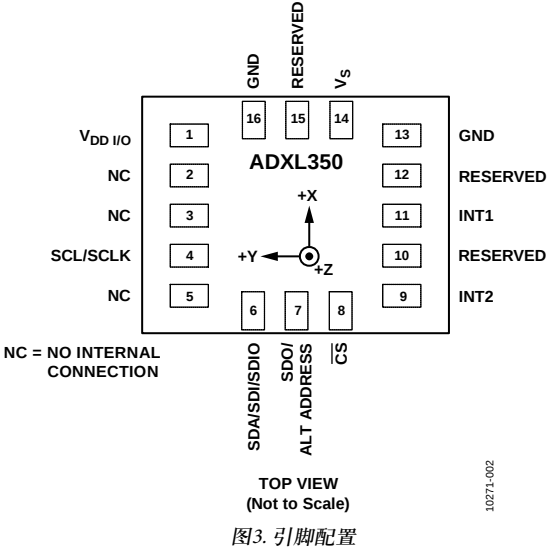


表5. 引脚功能描述

引脚编号	名称	描述
1	V _{DD I/O}	数字接口电源电压。
2	NC	内部不连接。
3	NC	内部不连接。
4	SCL/SCLK	串行通信时钟。
5	NC	内部不连接。
6	SDA/SDI/SDIO	串行数据(I ² C)、串行数据输入(SPI 4线)、串行数据输入/输出(SPI 3线)。
7	SDO/ALT ADDRESS	串行数据输出/备用I ² C地址选择。
8	$\overline{CS}$	片选。
9	INT2	中断2输出。
10	RESERVED	保留。该引脚必须接地或保持断开。
11	INT1	中断1输出。
12	RESERVED	保留。该引脚必须接地。
13	GND	该引脚必须接地。
14	V _S	电源电压。
15	RESERVED	保留。该引脚必须连接到V _S 或保持断开。
16	GND	该引脚必须接地。

典型性能参数

除非另有说明，所有典型性能图的N = 460。

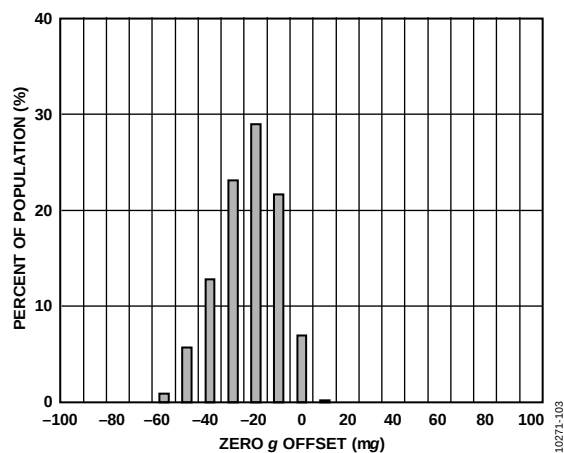


图4. 25°C时的X轴0 g偏移, $V_s = 2.5\text{ V}$

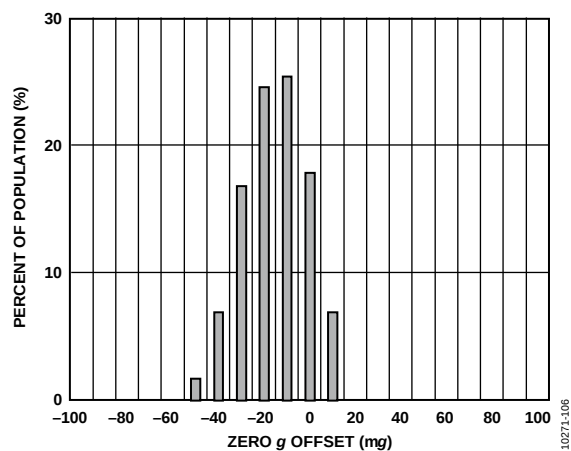


图7. 25°C时的X轴0 g偏移, $V_s = 3.0\text{ V}$

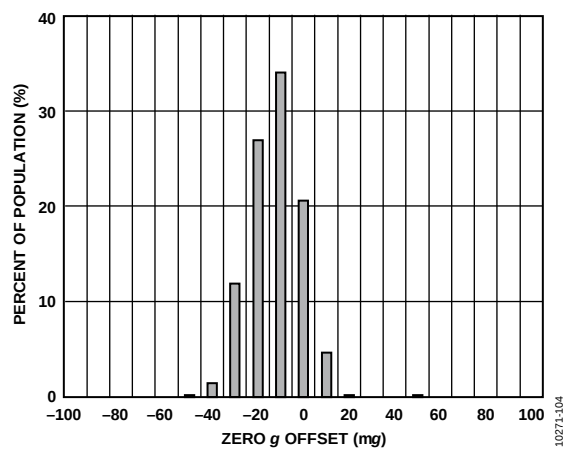


图5. 25°C时的Y轴0 g偏移, $V_s = 2.5\text{ V}$

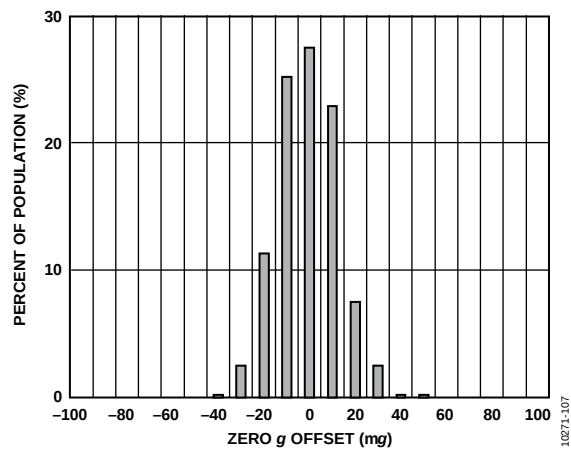


图8. 25°C时的Y轴0 g偏移, $V_s = 3.0\text{ V}$

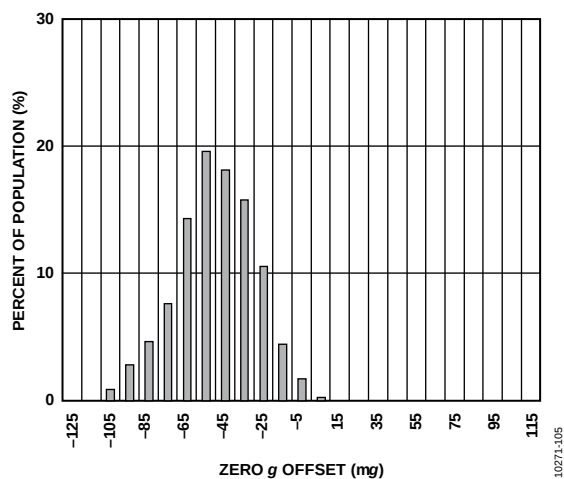


图6. 25°C时的Z轴0 g偏移, $V_s = 2.5\text{ V}$

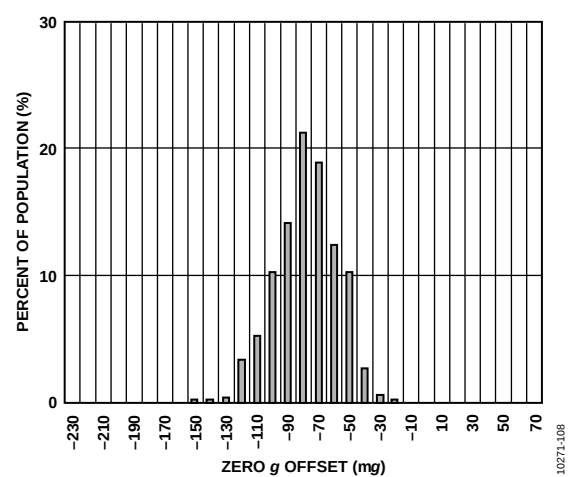
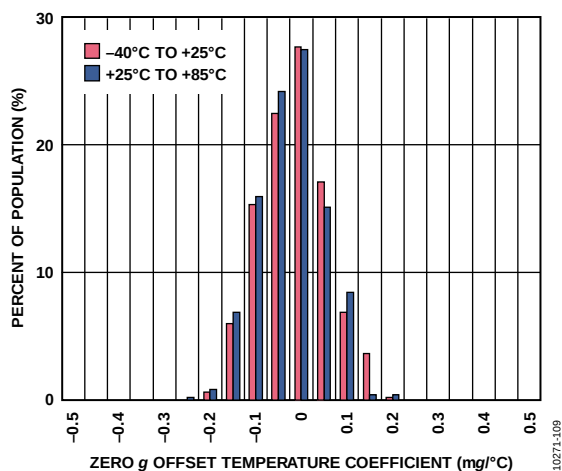
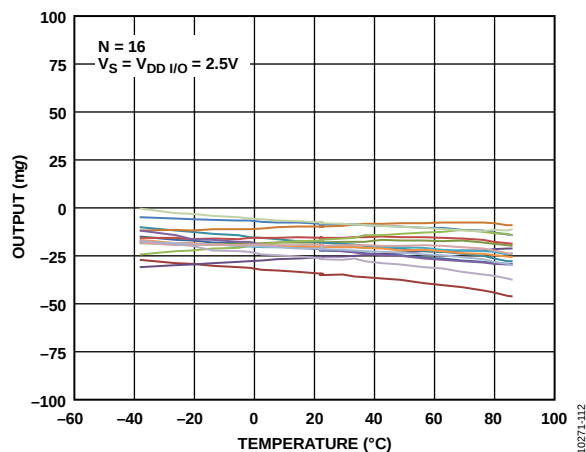
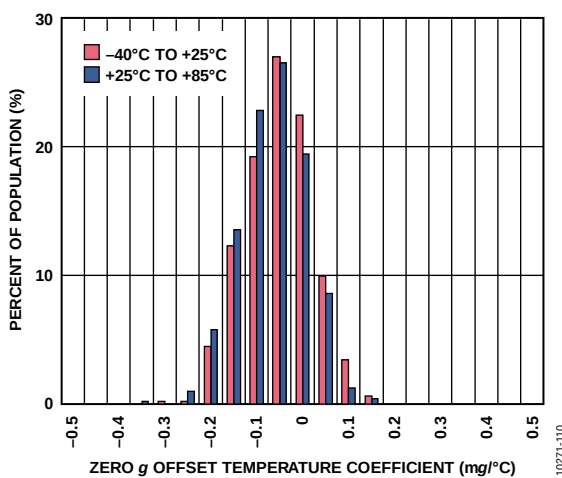
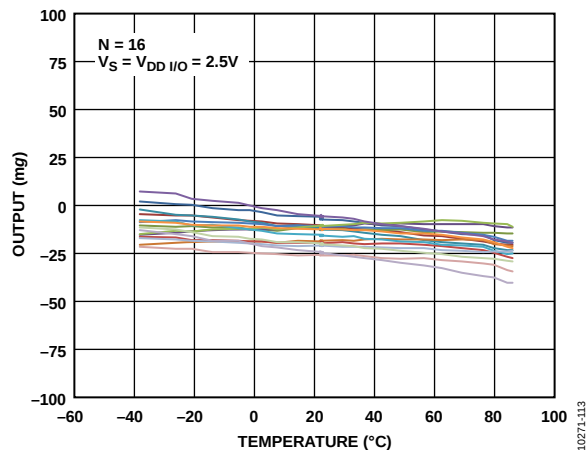
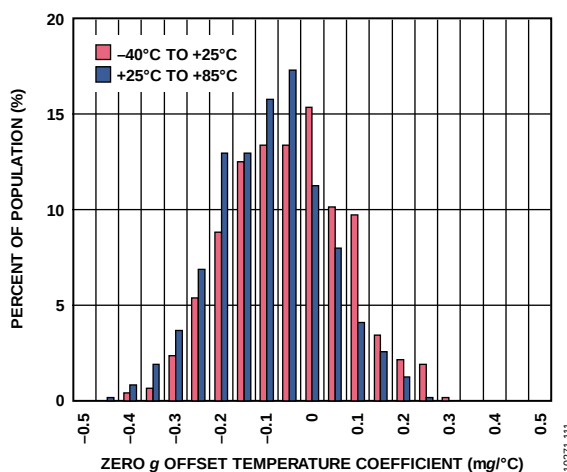
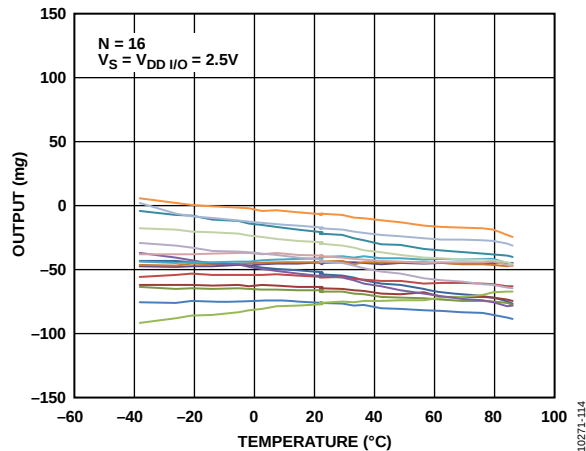


图9. 25°C时的Z轴0 g偏移, $V_s = 3.0\text{ V}$

图10. X轴0 g偏移温度系数, $V_s = 2.5\text{ V}$ 图13. X轴0 g偏移与温度的关系—16个器件焊接到PCB, $V_s = 2.5\text{ V}$ 图11. Y轴0 g偏移温度系数, $V_s = 2.5\text{ V}$ 图14. Y轴0 g偏移与温度的关系—16个器件焊接到PCB, $V_s = 2.5\text{ V}$ 图12. Z轴0 g偏移温度系数, $V_s = 2.5\text{ V}$ 图15. Z轴0 g偏移与温度的关系—16个器件焊接到PCB, $V_s = 2.5\text{ V}$

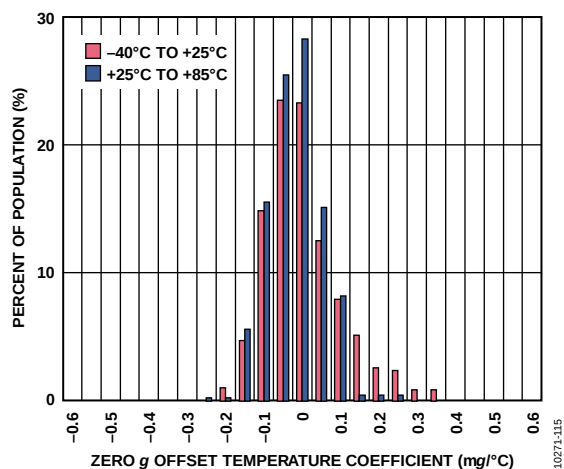


图16. X轴0 g偏移温度系数, $V_s = 3.0\text{ V}$

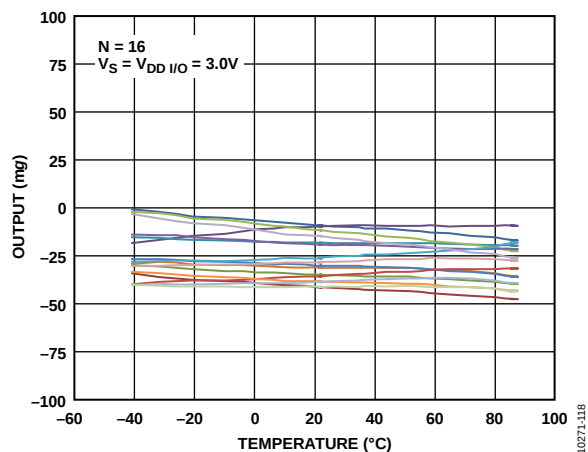


图19. X轴0 g偏移与温度的关系—16个器件焊接到PCB, $V_s = 3.0\text{ V}$

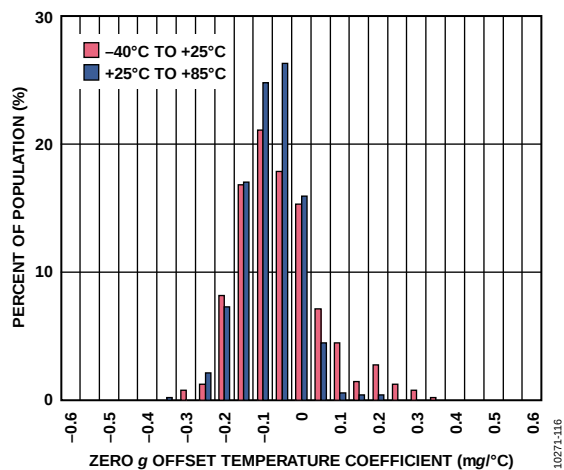


图17. Y轴0 g偏移温度系数, $V_s = 3.0\text{ V}$

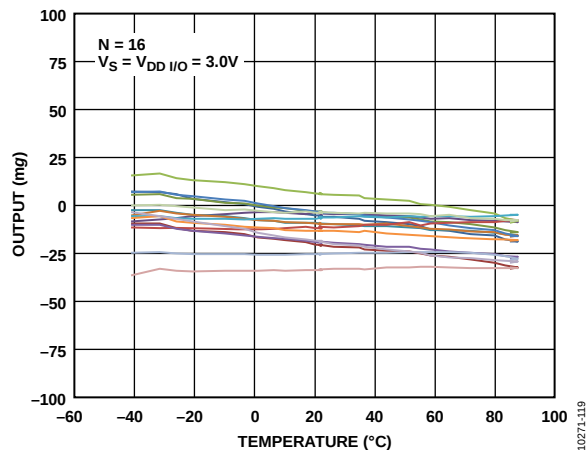


图20. Y轴0 g偏移与温度的关系—16个器件焊接到PCB, $V_s = 3.0\text{ V}$

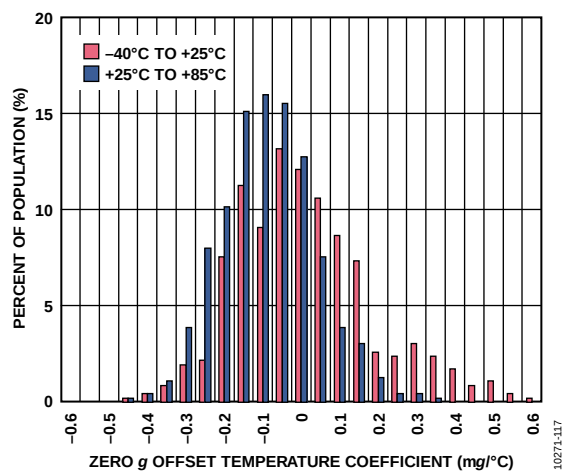


图18. Z轴0 g偏移温度系数, $V_s = 3.0\text{ V}$

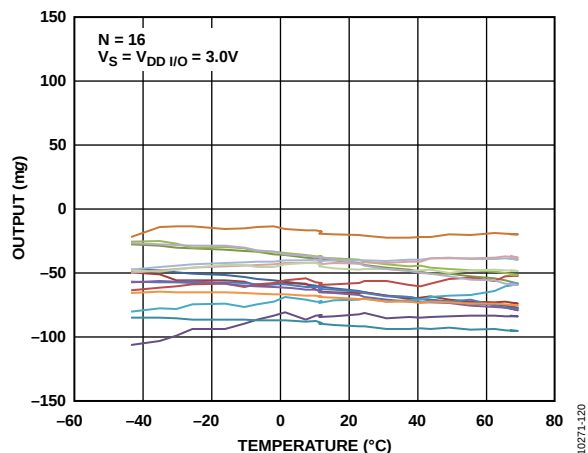


图21. Z轴0 g偏移与温度的关系—16个器件焊接到PCB, $V_s = 3.0\text{ V}$

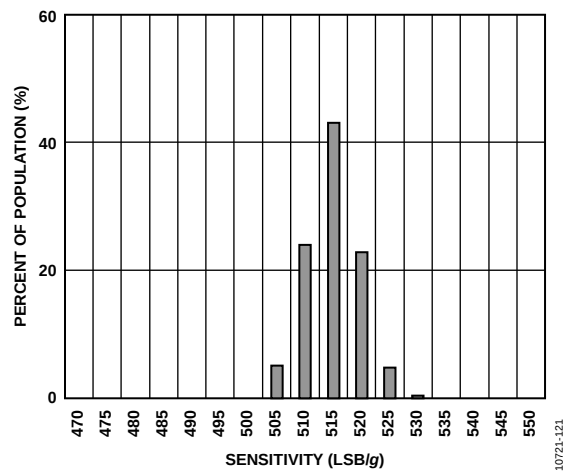


图22. X轴灵敏度(25°C, $V_s = 2.5\text{ V}$, 全分辨率)

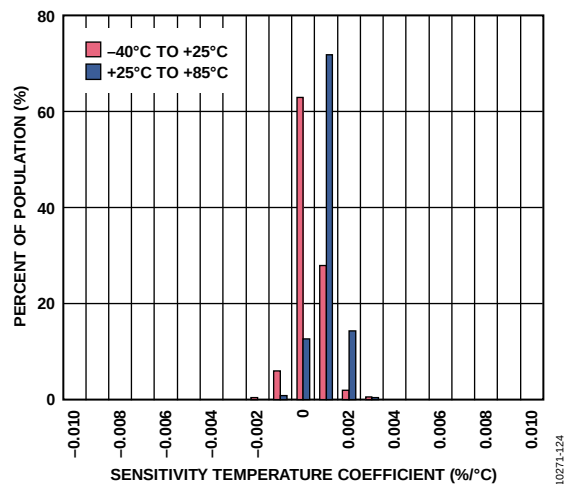


图25. X轴灵敏度温度系数, $V_s = 2.5\text{ V}$

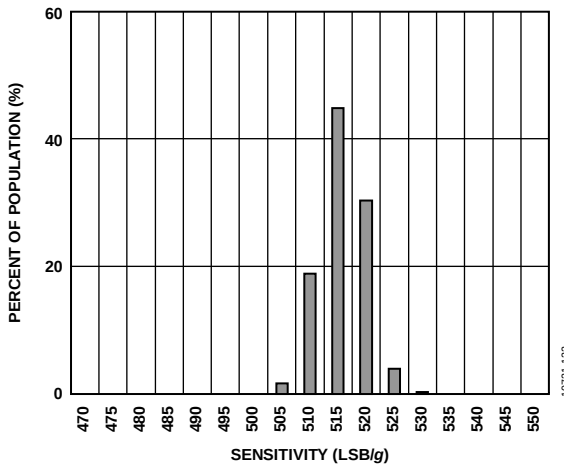


图23. Y轴灵敏度(25°C, $V_s = 2.5\text{ V}$, 全分辨率)

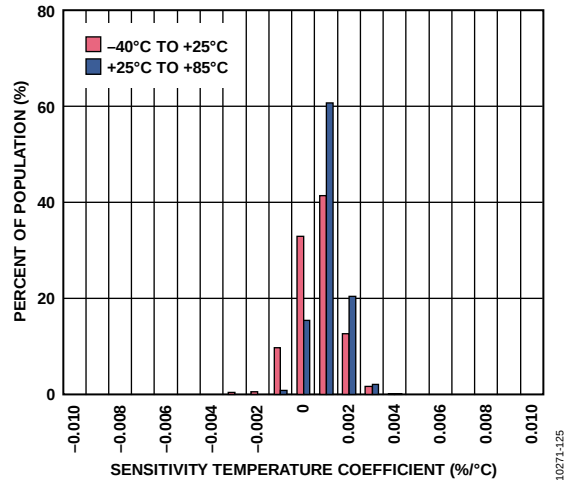


图26. Y轴灵敏度温度系数, $V_s = 2.5\text{ V}$

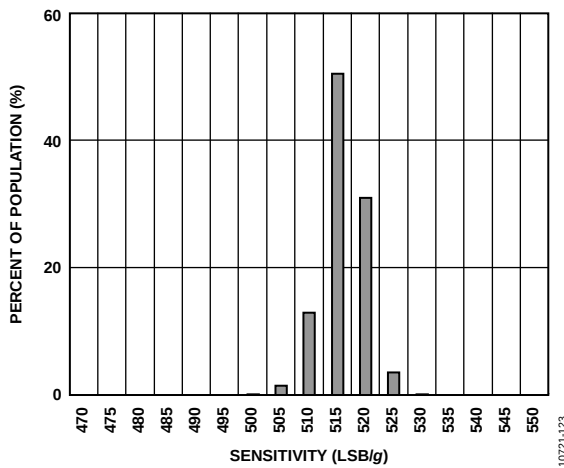


图24. Z轴灵敏度(25°C, $V_s = 2.5\text{ V}$, 全分辨率)

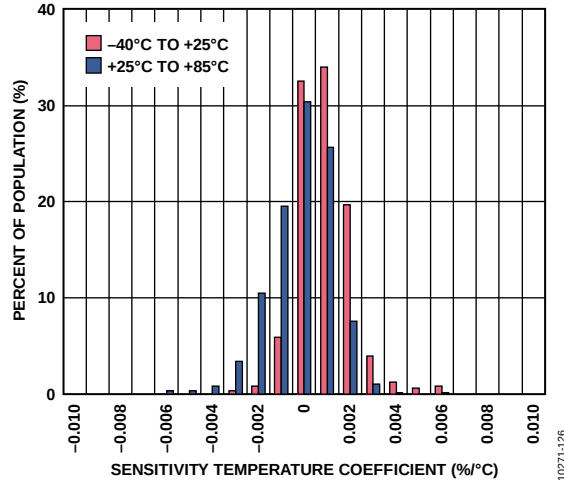


图27. Z轴灵敏度温度系数, $V_s = 2.5\text{ V}$

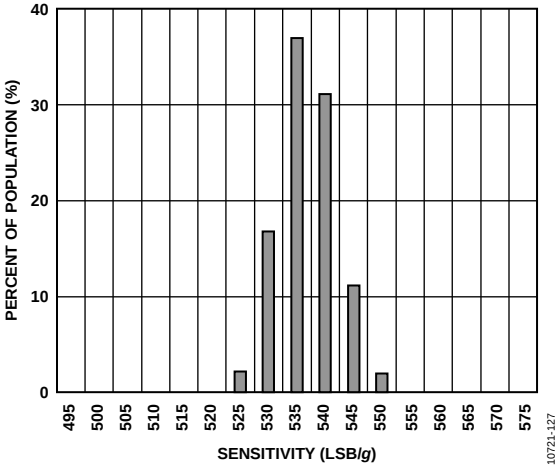


图28. X轴灵敏度($V_s = 3.0\text{ V}$, 全分辨率)

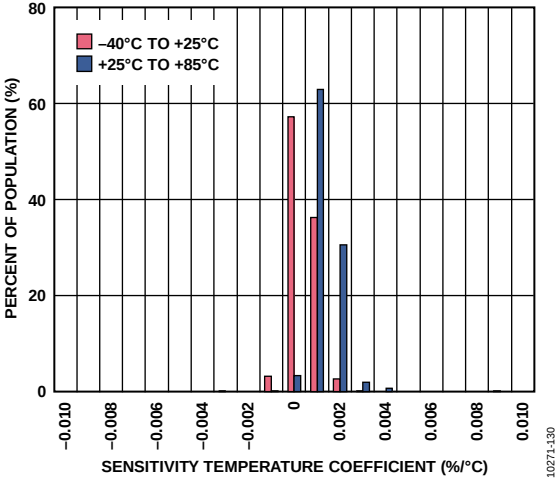


图31. X轴灵敏度温度系数, $V_s = 3.0\text{ V}$

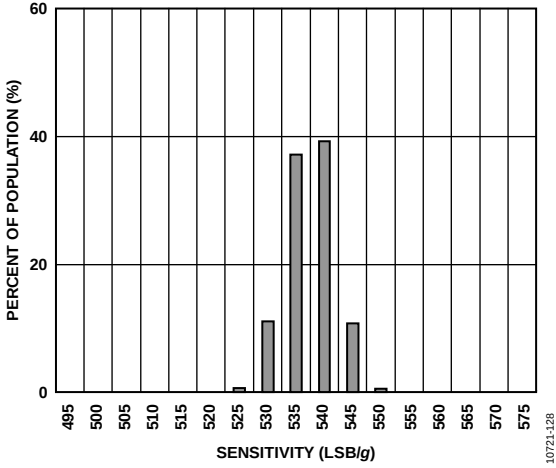


图29. Y轴灵敏度($V_s = 3.0\text{ V}$, 全分辨率)

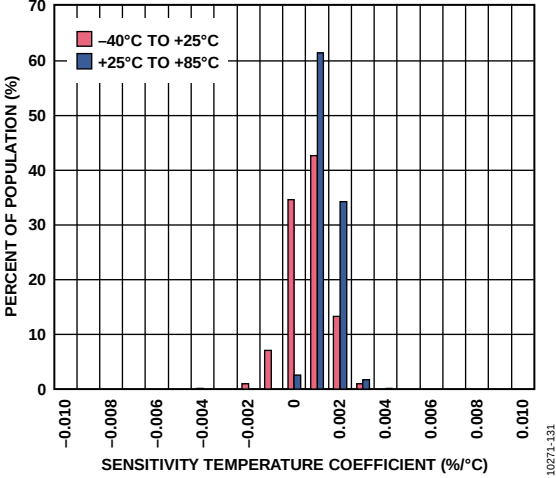


图32. Y轴灵敏度温度系数, $V_s = 3.0\text{ V}$

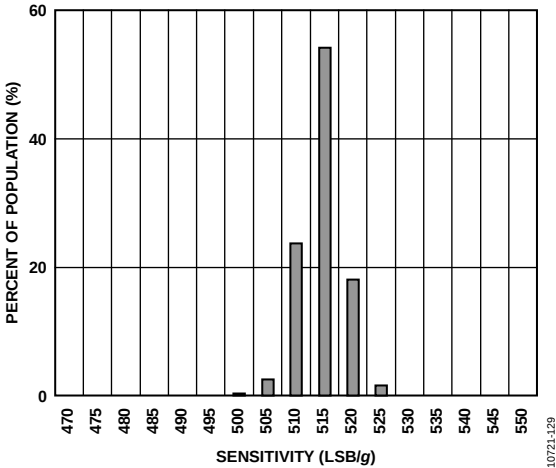


图30. Z轴灵敏度($V_s = 3.0\text{ V}$, 全分辨率)

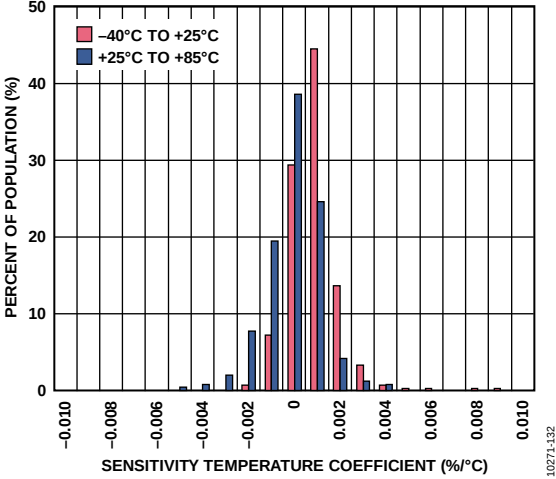


图33. Z轴灵敏度温度系数, $V_s = 3.0\text{ V}$

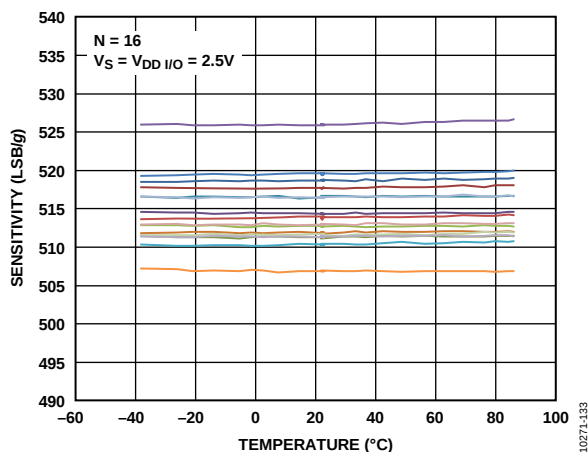


图34. X轴灵敏度与温度的关系—16个器件焊接到PCB,
 $V_S = 2.5V$, 全分辨率

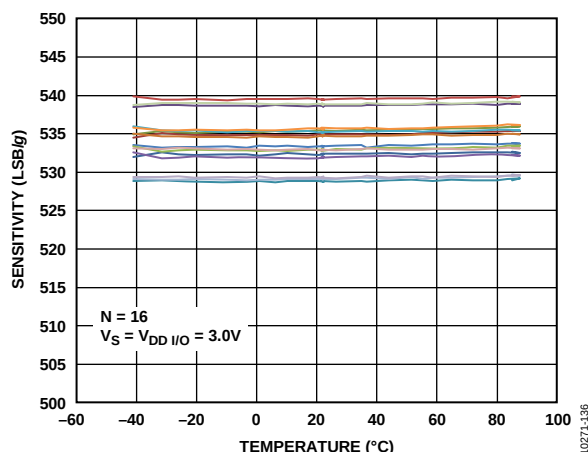


图37. X轴灵敏度与温度的关系—16个器件焊接到PCB,
 $V_S = 3.0V$, 全分辨率

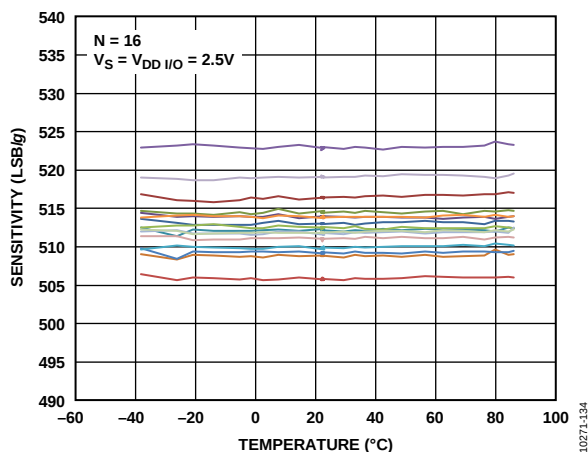


图35. Y轴灵敏度与温度的关系—16个器件焊接到PCB,
 $V_S = 2.5V$, 全分辨率

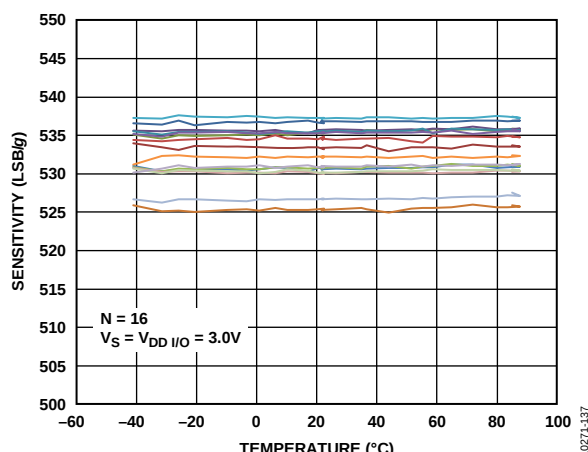


图38. Y轴灵敏度与温度的关系—16个器件焊接到PCB,
 $V_S = 3.0V$, 全分辨率

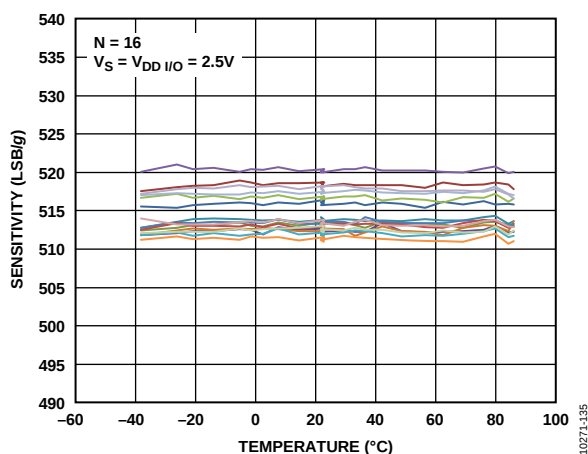


图36. Z轴灵敏度与温度的关系—16个器件焊接到PCB,
 $V_S = 2.5V$, 全分辨率

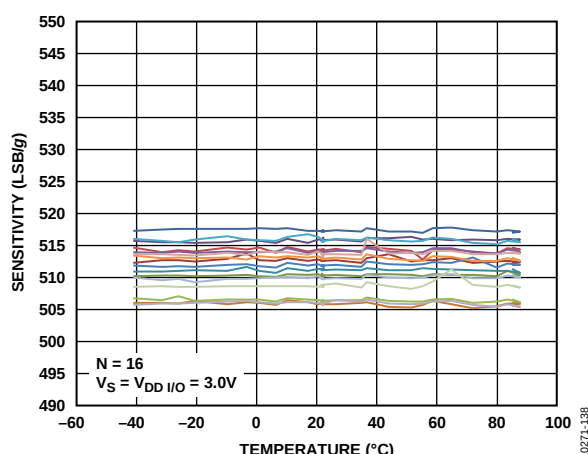


图39. Z轴灵敏度与温度的关系—16个器件焊接到PCB,
 $V_S = 3.0V$, 全分辨率

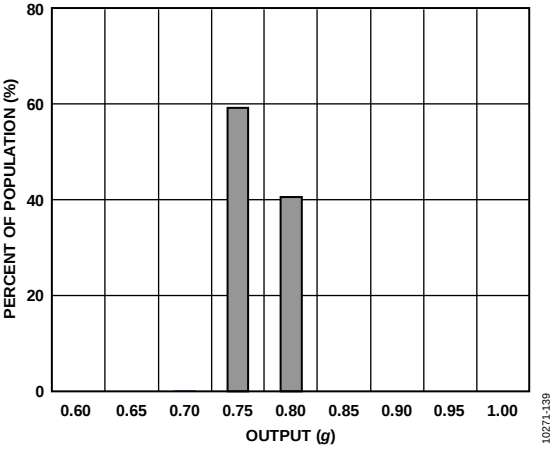


图40. 25°C时的X轴自测响应, $V_s = 2.5\text{ V}$

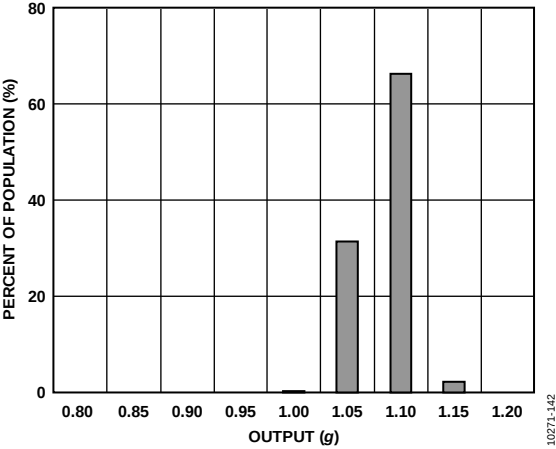


图43. 25°C时的X轴自测响应, $V_s = 3.0\text{ V}$

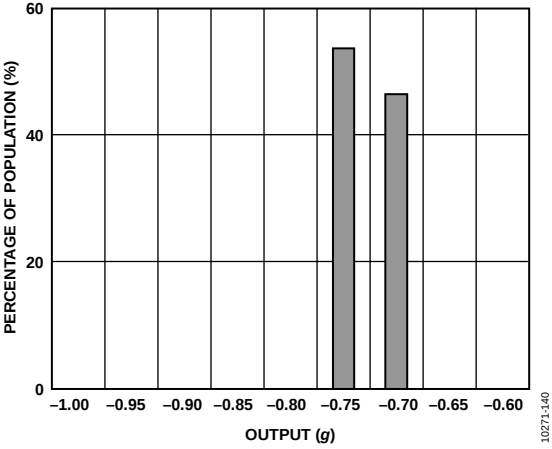


图41. 25°C时的Y轴自测响应, $V_s = 2.5\text{ V}$

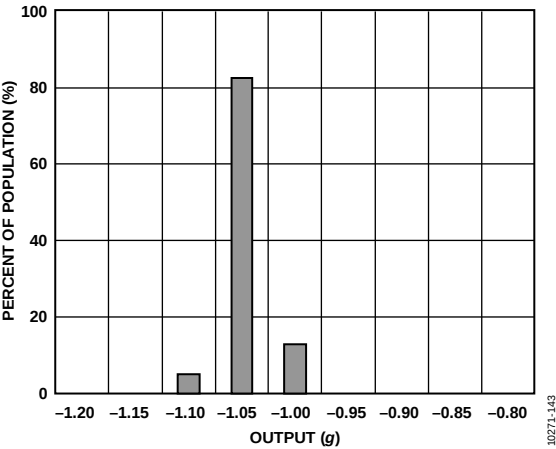


图44. 25°C时的Y轴自测响应, $V_s = 3.0\text{ V}$

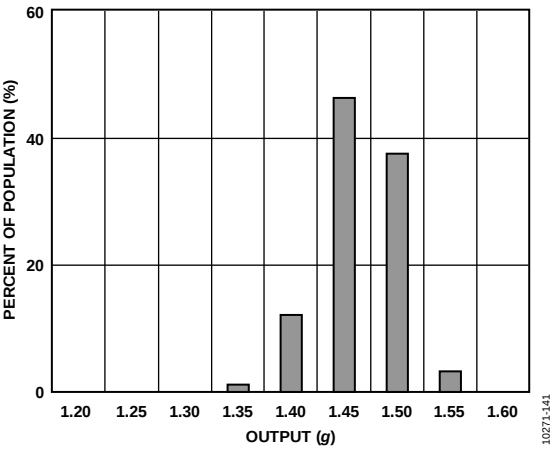


图42. 25°C时的Z轴自测响应, $V_s = 2.5\text{ V}$

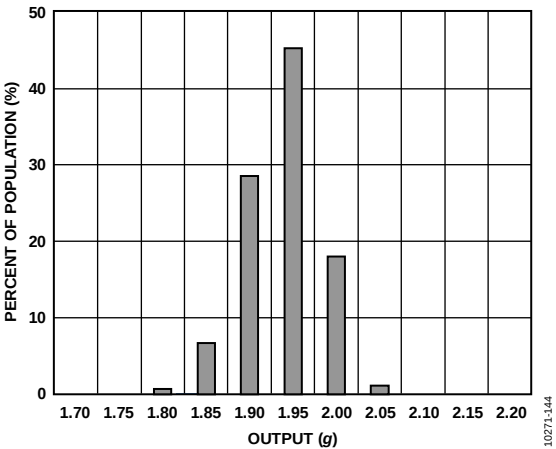


图45. 25°C时的Z轴自测响应, $V_s = 3.0\text{ V}$

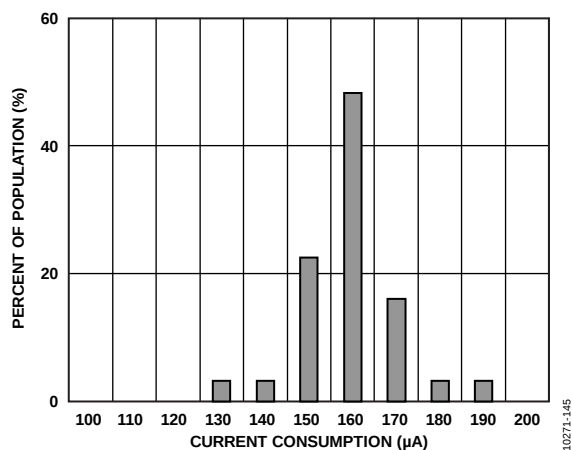


图46. 25°C时的功耗, 100 Hz输出数据速率,
 $V_s = 2.5\text{ V}$, 31个器件

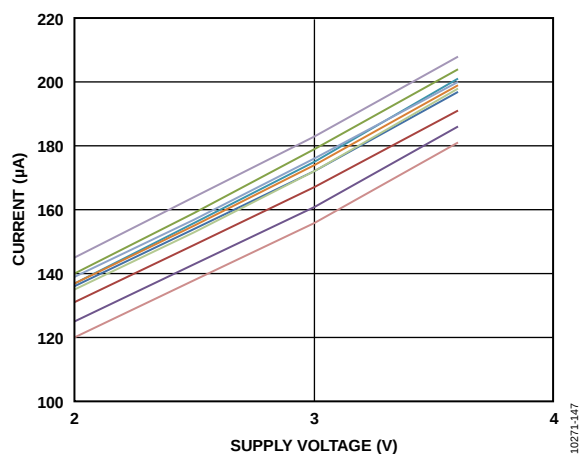


图48. 25°C时电流消耗与电源电压 V_s 的关系, 10个器件

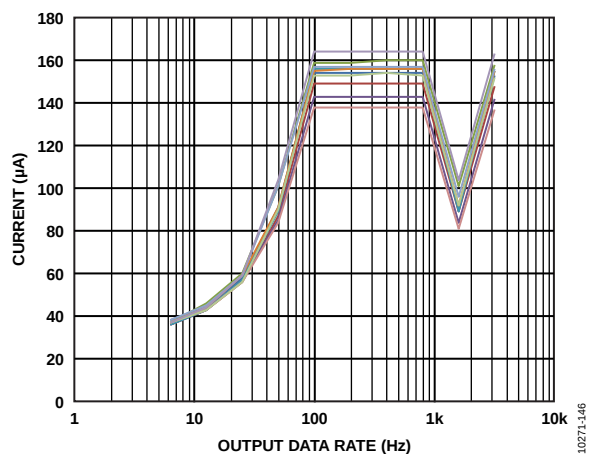


图47. 25°C时功耗与输出数据速率的关系,
 $V_s = 2.5\text{ V}$, 10个器件

工作原理

ADXL350是一款完整的3轴加速度测量系统，可选的测量范围有±1 g、±2 g、±4 g或±8 g。该器件既能测量运动或冲击导致的动态加速度，也能测量静止加速度，例如重力加速度，因此可作为倾斜传感器使用。

该传感器为多晶硅表面微加工结构，置于晶圆顶部。多晶硅弹簧悬挂于晶圆表面的结构之上，提供加速度力量阻力。

差分电容由独立固定板和活动质量连接板组成，能对结构偏转进行测量。加速度使波束偏转、差分电容失衡，从而传感器输出的幅度与加速度成比例。相敏解调用于确定加速度的幅度和极性。

电源时序

电源能以任何时序施加到V_S或V_{DD I/O}而不会损坏ADXL350。表6列出了所有可能的上电模式。

接口电压电平通过接口电源电压V_{DD I/O}设置，其存在确保了ADXL350跟通信总线不冲突。单电源供电模式中，V_{DD I/O}可以等于主电源V_S。然而，在双电源应用中，V_{DD I/O}可不等于V_S，只要V_S大于V_{DD I/O}，就可以适应所需的接口电压。

施加V_S，器件进入待机模式，此时功耗最小。器件等待施加V_{DD I/O}和接收进入测量模式的命令。(此命令可以通过设置POWER_CTL寄存器(地址0x2D)的测量位启动。)此外，器件处于待机模式时，可以写入或读取任何寄存器，以配置器件。建议在待机模式配置器件，然后使能测量模式。清除测量位，器件返回到待机模式。

表6. 电源时序

条件	V _S	V _{DD I/O}	描述
关断	关	关	该器件完全关断，但可能存在通信总线冲突。
总线禁用	开	关	该器件开启，进入待机模式，但通信不可用，并且与通信总线冲突。上电时应尽量减少该状态持续时间，以防冲突。
总线使能	关	开	无功能可用，但该器件不会与通信总线冲突。
待机或测量模式	开	开	上电时，该器件处于待机模式，等待进入测量模式的命令，所有传感器功能关闭。该器件得到指示后进入测量模式，所有的传感器功能都可用。

省电功能
功耗模式

ADXL350自动调节功耗，与输出数据速率成比例，如表7所示。如果需要额外省电，可采用低功耗模式。该模式下，内部采样速率降低，12.5 Hz至400 Hz数据速率范围内达到省电目的，但噪声略微变大。

要进入低功耗模式，在BW_RATE寄存器(地址0x2C)中设置LOW_POWER位(位4)。表8为低功耗模式下的功耗，低功耗模式的优势从中可见。表7和表8列出了 V_s 为2.5 V时的功耗值。电流与 V_s 成线性比例关系。

表7. 功耗与数据速率
($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_s = 2.5\text{ V}$, $V_{DD I/O} = 1.8\text{ V}$)

输出数据速率 (Hz)	带宽(Hz)	速率代码	I_{DD} (μA)
3200	1600	1111	145
1600	800	1110	100
800	400	1101	145
400	200	1100	145
200	100	1011	145
100	50	1010	145
50	25	1001	100
25	12.5	1000	65
12.5	6.25	0111	55
6.25	3.125	0110	40

表8. 功耗与数据速率
(低功耗模式, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_s = 2.5\text{ V}$, $V_{DD I/O} = 1.8\text{ V}$)

输出数据速率 (Hz)	带宽(Hz)	速率代码	I_{DD} (μA)
400	200	1100	100
200	100	1011	65
100	50	1010	55
50	25	1001	50
25	12.5	1000	40
12.5	6.25	0111	40

自动休眠模式

通过让ADXL350在静止期间自动切换到休眠模式，可以进一步节省功耗。要启用此功能，应将THRESH_INACT寄存器(地址0x25)和TIME_INACT寄存器(地址0x26)各设置一个值表示静止(适当值视应用而定)，然后将POWER_CTL寄存器(地址0x2D)中的AUTO_SLEEP位和链接位置1。 V_s 为2.5 V时，该模式下低于8 Hz数据速率的功耗通常为40 μA。

待机模式

要进一步降低功耗，可以使用待机模式。待机模式下，功耗降低到0.1 μA(典型值)。该模式中，无测量发生。清除POWER_CTL寄存器(地址0x2D)的测量位(位D3)，可进入待机模式。在待机模式下，器件会保存FIFO内容。

串行通信

ADXL350支持I²C和SPI数字通信，无论何种模式下，该器件始终用作从机。 $\overline{\text{CS}}$ 引脚上拉至 $V_{\text{DD I/O}}$ ，I²C模式使能。 $\overline{\text{CS}}$ 引脚应始终上拉至 $V_{\text{DD I/O}}$ 或由外部控制器驱动，因为 $\overline{\text{CS}}$ 引脚无连接时，默认模式不存在。如果没有采取这些措施，可能会导致该器件无法通信。SPI模式下， $\overline{\text{CS}}$ 引脚由总线主机控制。

SPI和I²C两种工作模式下，ADXL350写入期间，应忽略从ADXL350传输到主机的数据。

SPI

对于SPI，可以采用3线或4线配置，如图49和图50的连接图所示。DATA_FORMAT寄存器(地址0x31)的SPI位清0时，选择4线模式；SPI位置1时，选择3线模式。在100 pF最大负载下，SPI最大时钟速度为5 MHz，时序方案为：时钟极性(CPOL) = 1且时钟相位(CPHA) = 1。

$\overline{\text{CS}}$ 为串行端口使能线，由SPI主机控制。如图52所示，此线必须在传输起点变为低电平，传输终点变为高电平。SCLK为串行端口时钟，由SPI主机提供。无传输期间， $\overline{\text{CS}}$ 为高电平，SCLK为空闲高电平状态。SDI和SDO分别为串行数据输入和输出。数据应在SCLK的上升沿采样。

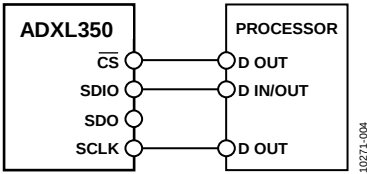


图49. 3线式SPI连接图

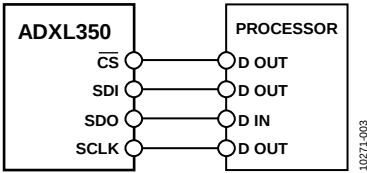


图50. 4线式SPI连接图

要在单次传输内读取或写入多个字节，必须设置位于第一个字节传输(MB，图52至图54)R/W位后的多字节位。寄存器寻址和数据的第一个字节后，时钟脉冲的随后每次设置(8个时钟脉冲)导致ADXL350指向下一个寄存器的读取或写入。时钟脉冲停止后，移位才随之中止， $\overline{\text{CS}}$ 复位。要执行不同不连续寄存器的读取或写入，传输之间 $\overline{\text{CS}}$ 必须复位，新寄存器另行寻址。图54显示了3线式SPI读取或写入的时序图。图52和图53分别显示了4线式SPI读取和写入的时序图。

防止总线通信流错误

ADXL350 $\overline{\text{CS}}$ 引脚同时用于启动SPI传输和使能I²C模式。在连接多个器件的SPI总线上使用ADXL350时，其 $\overline{\text{CS}}$ 引脚在主机与其它器件通信时保持高电平。可能存在这样的情况，传输给另一个器件的SPI命令看起来像是一个有效的I²C命令。这种情况下，ADXL350将此命令解读为试图在I²C模式下通信，可能会干扰其它总线流量。除非能够充分控制总线流量，确保这种情况不会发生，否则建议在SDI引脚之前增加一个逻辑门，如图51所示。当 $\overline{\text{CS}}$ 为高电平时，此OR门使SDA线保持高电平，以防止ADXL350处的SPI总线流量表现为I²C起始命令。

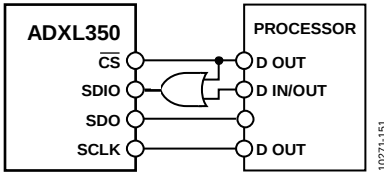


图51. 单根总线连接多个SPI器件时的推荐SPI连接图

表9. SPI数字输入/输出电压

参数	测试条件	限值 ¹		单位
		最小值	最大值	
数字输入				
低电平输入电压(V _{IL})			0.3 × V _{DD I/O}	V
高电平输入电压(V _{IH})		0.7 × V _{DD I/O}		V
低电平输入电流(I _{IL})	V _{IN} = V _{DD I/O}		0.1	μA
高电平输入电流(I _{IH})	V _{IN} = 0 V	−0.1		μA
数字输出				
低电平输出电压(V _{OL})	I _{OL} = 10 mA		0.2 × V _{DD I/O}	V
高电平输出电压(V _{OH})	I _{OH} = −4 mA	0.8 × V _{DD I/O}		V
低电平输出电流(I _{OL})	V _{OL} = V _{OL, max}	10		mA
高电平输出电流(I _{OH})	V _{OH} = V _{OH, min}		−4	mA
引脚电容	f _{IN} = 1 MHz, V _{IN} = 2.5 V		8	pF

¹ 限值基于特性数据，未经生产测试。

表10. SPI时序(T_A = 25°C, V_S = 2.5 V, V_{DD I/O} = 1.8 V)¹

参数	限值 ^{2, 3}		单位	描述
	最小值	最大值		
f _{SCLK}		5	MHz	SPI时钟频率
t _{SCLK}	200		ns	SCLK输入的1/(SPI时钟频率)传号空号比为40/60至60/40
t _{DELAY}	10		ns	$\overline{\text{CS}}$ 下降沿到SCLK下降沿
t _{QUIET}	10		ns	SCLK上升沿到 $\overline{\text{CS}}$ 上升沿
t _{DIS}		100	ns	$\overline{\text{CS}}$ 上升沿至SDO禁用
t _{CS,DIS}	250		ns	SPI通信间 $\overline{\text{CS}}$ 解除置位
t _S	0.4 × t _{SCLK}		ns	SCLK低电平脉冲宽度(空号)
t _M	0.4 × t _{SCLK}		ns	SCLK高电平脉冲宽度(传号)
t _{SDO}		95	ns	SCLK下降沿至SDO转换
t _{SETUP}	10		ns	SCLK上升沿之前SDI有效
t _{HOLD}	10		ns	SCLK上升沿之后SDI有效

¹ $\overline{\text{CS}}$ 、SCLK、SDI和SDO引脚没有采用内部上拉或下拉电阻，必须进行驱动以正确工作。

² 限值基于特性数据：f_{SCLK} = 5 MHz，总线负载电容100 pF，未经生产测试。

³ 测得的时序值对应表9给出的输入阈值(V_{IL}和V_{IH})。

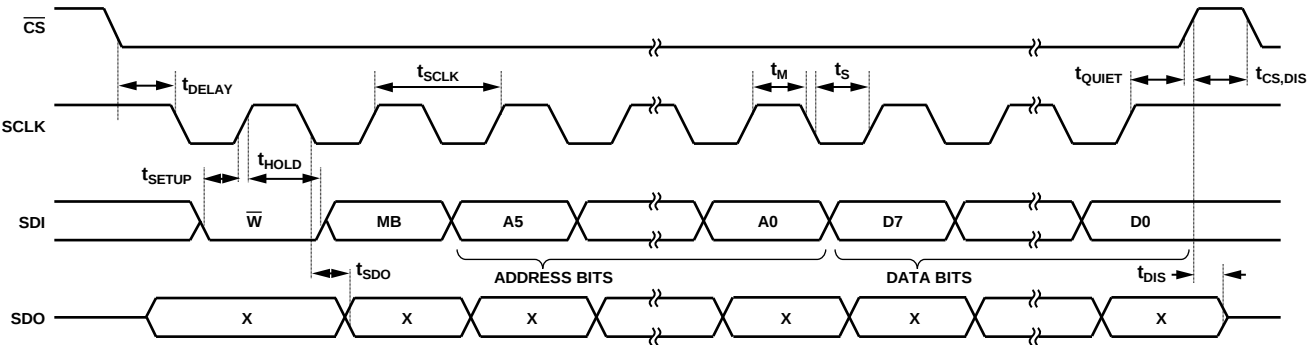


图52. 4线SPI写入

10271-017

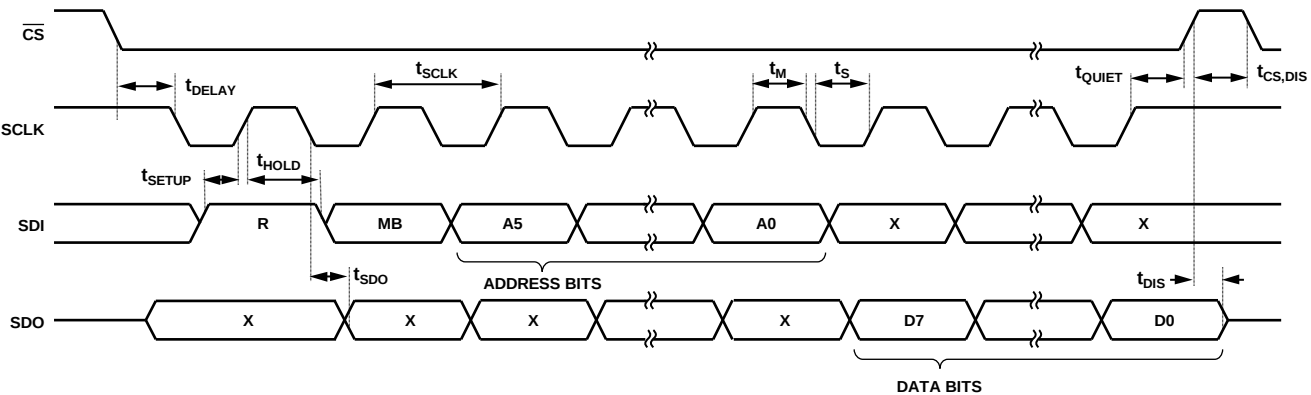
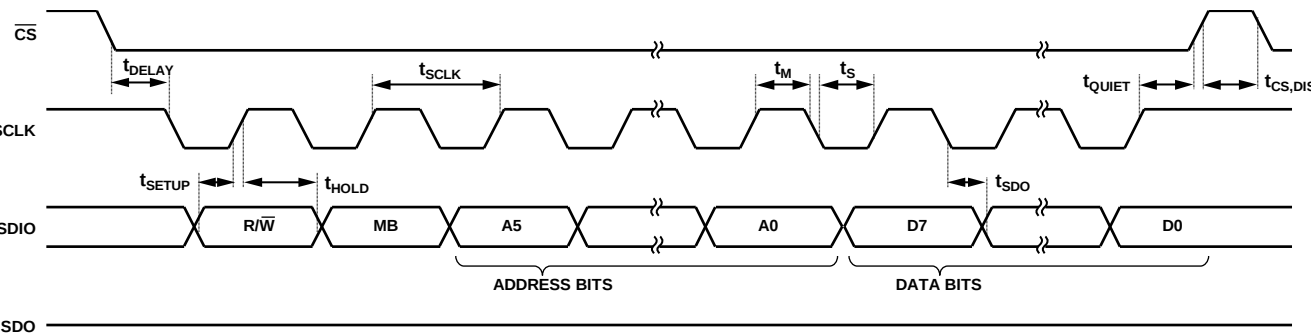


图53. 4线SPI读取

10271-018



NOTES
1. t_{SDO} IS ONLY PRESENT DURING READS.

图54. 3线SPI读取/写入

10271-019

I²C

如图55所示， $\overline{\text{CS}}$ 引脚拉高至 $V_{\text{DD I/O}}$ ，ADXL350处于I²C模式，需要简单双线式连接。ADXL350符合《UM10204 I²C总线规范和用户手册》03版(2007年6月19日，NXP Semiconductors提供)。如果满足了表12和图57列出的时序参数，便能支持标准(100 kHz)和快速(400 kHz)数据传输模式。

如图56所示，支持单个或多个字节的读取/写入。SDO/ALT ADDRESS引脚(引脚7)处于高电平，器件的7位I²C地址是0x1D，随后为R/ $\overline{\text{W}}$ 位。这转化为0x3A写入，0x3B读取。通过SDO/ALT ADDRESS引脚(引脚7)接地，可以选择备用I²C地址0x53(随后为R/ $\overline{\text{W}}$ 位)。这转化为0xA6写入，0xA7读取。

如果有其他器件连接到同一I²C总线，这些器件的额定工作电压电平不能高于 $V_{\text{DD I/O}}$ 0.3 V以上。I²C正确操作需要外接上拉电阻 R_{P} 。为确保正确操作，选择上拉电阻值时，请参考《UM10204 I²C总线规范和用户手册》03版(2007年6月19日)。

表11. I²C数字输入/输出电压

参数	限值 ¹	单位
数字输入电压		
低电平输入电压(V_{IL})	$0.25 \times V_{\text{DD I/O}}$	V(最大值)
高电平输入电压(V_{IH})	$0.75 \times V_{\text{DD I/O}}$	V(最小值)
数字输出电压		
低电平输出电压(V_{OL}) ²	$0.2 \times V_{\text{DD I/O}}$	V(最大值)

¹ 限值基于特性数据，未经生产测试。
² 给出的限值仅针对 $V_{\text{DD I/O}} < 2\text{ V}$ 。 $V_{\text{DD I/O}} > 2\text{ V}$ 时，最大限值为0.4 V。

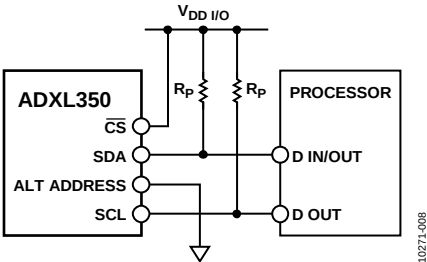
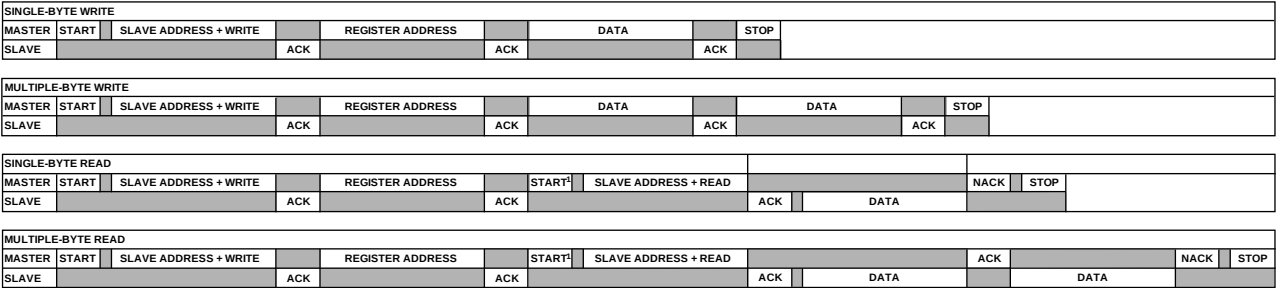


图55. I²C连接图(地址0x53)



NOTES
1. THIS START IS EITHER A RESTART OR A STOP FOLLOWED BY A START.
2. THE SHADED AREAS REPRESENT WHEN THE DEVICE IS LISTENING.

图56. I²C器件寻址

表12. I²C时序(T_A = 25°C, V_S = 2.5V, V_{DDI/O} = 1.8 V)

参数	限值 ^{1,2}		单位	描述
	最小值	最大值		
f _{SCL}		400	kHz	SCL时钟频率
t ₁	2.5		μs	SCL周期时间
t ₂	0.6		μs	t _{HIGH} , SCL高电平时间
t ₃	1.3		μs	t _{LOW} , SCL低电平时间
t ₄	0.6		μs	t _{HD} , STA, 起始/重复起始条件保持时间
t ₅	350		ns	t _{SU} , DAT, 数据建立时间
t ₆ ^{3, 4, 5, 6}	0	0.65	μs	t _{HD} , DAT, 数据保持时间
t ₇	0.6		μs	t _{SU} , STA, 重复起始建立时间
t ₈	0.6		μs	t _{SU} , STO, 停止条件建立时间
t ₉	1.3		μs	t _{BUF} , 一个结束条件和起始条件之间的总线空闲时间
t ₁₀		300	ns	t _R , 接收时SCL和SDA的上升时间
t ₁₁	0		ns	t _R , 接收或传送时SCL和SDA的上升时间
		250	ns	t _F , 接收时SDA的下降时间
		300	ns	t _F , 传送时SCL和SDA的下降时间
	20 + 0.1 C _b ⁷		ns	t _F , 传送或接收时SCL和SDA的下降时间
C _b		400	pF	各条总线的容性负载

¹ 限值基于特性数据: f_{SCL} = 400 kHz和3 mA吸电流, 未经生产测试。

² 所有值均参考表11中的V_{IH}和V_{IL}电平值。

³ t₆为SCL下降沿测得的数据保持时间。适用于传输和应答时间。

⁴ 发送器件必须为SDA信号(相对于SCL信号的V_{IH(min)})内部提供至少300 ns的输出保持时间, 以便桥接SCL下降沿未定义区域。

⁵ 如果器件SCL信号的低电平周期(t₃)没有延长, 则必须满足t₆最大值。

⁶ t₆最大值根据时钟低电平时间(t₃)、时钟上升时间(t₁₀)和最小数据建立时间(t_{5(min)})而定。该值计算公式为t_{6(max)} = t₃ - t₁₀ - t_{5(min)}。

⁷ C_b是一条总线的总电容(单位: pF)。

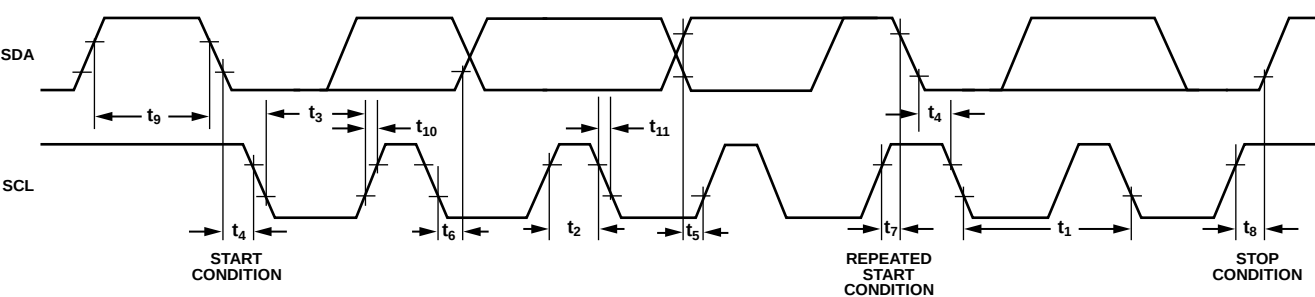


图57. I²C时序图

10271-020

中断

ADXL350为驱动中断提供两个输出引脚：INT1和INT2。本部分将详述每种中断功能。所有功能都可以同时使用，但是，一些功能可能需要共享中断引脚。中断通过设置INT_ENABLE寄存器(地址0x2E)的适当位来使能，并会映射到INT1引脚或INT2引脚，具体根据INT_MAP寄存器(地址0x2F)内容而定。建议在配置期间禁用中断，以免意外触发中断。这可以通过将值0x00写入INT_ENABLE寄存器来实现。

数据相关中断条件失效前读取数据寄存器(地址0x32至地址0x37)，或读取INT_SOURCE寄存器(地址0x30)的剩余中断，可清除中断。本节描述了INT_ENABLE寄存器的中断设置和INT_SOURCE寄存器的中断监测。

DATA_READY

当有新的数据产生时，DATA_READY位置位；当没有新的数据时，DATA_READY位清除。

SINGLE_TAP

当发生单一加速度事件，其值超过THRESH_TAP(地址0x1D)中的值并且持续时间小于DUR寄存器(地址0x21)规定的时间时，SINGLE_TAP位置位。

DOUBLE_TAP

两次加速度事件超过THRESH_TAP寄存器(地址0x1D)中的值，并且持续时间小于DUR寄存器(地址0x21)规定的时间时，DOUBLE_TAP位置位。第二次敲击开始于Latent寄存器(地址0x22)规定的时间之后，但在Window寄存器(地址0x23)规定的时间内。详情见“敲击检测”部分。

Activity

当加速度值超过THRESH_ACT(地址0x24)寄存器的存储值时，activity位置位。

Inactivity

当加速度值小于THRESH_INACT寄存器(地址0x25)的存储值且时间超过TIME_INACT寄存器(地址0x26)中所规定的时间时，inactivity位置位。TIME_INACT最大值为255秒。

FREE_FALL

当加速度值小于THRESH_FF寄存器(地址0x28)中存储的值，并且时间超过TIME_FF寄存器(地址0x29)中规定的时间时，FREE_FALL位置位。FREE_FALL中断与Inactivity中

断区别如下：所有轴始终参与，定时器周期小得多(最大1.28秒)，始终为直流耦合工作模式。

Watermark

FIFO采样点数等于Samples位(FIFO_CTL寄存器，地址0x38)中存储的值时，Watermark位置位。读取FIFO时，Watermark位自动清零，内容返回至比Samples位中存储值更低的值。

Overrun

当有新数据替换未被读取的数据时，Overrun位置位。溢出功能与FIFO的工作模式有关。在旁路模式下，如果有新数据替换DATA_X、DATA_Y和DATA_Z寄存器(地址0x32至0x37)中的未读取数据，则Overrun位置位。在其他模式下，只有FIFO被存满时，Overrun位才会置位。读取FIFO内容时，Overrun位自动清零。

FIFO

ADXL350包含嵌入式32位FIFO技术(专利申请中)，可将主机处理器负荷降至最低。该缓冲器支持四种工作模式：旁路、FIFO、流和触发模式(见表20)。通过设置FIFO_CTL寄存器(地址0x38)的FIFO_MODE位，可选择各模式。

旁路模式

旁路模式下，FIFO不可操作，因而仍然为空。

FIFO模式

在FIFO模式下，x、y、z轴的测量数据存储存储在FIFO中。当FIFO中的采样点数与FIFO_CTL寄存器(地址0x38)采样点规定的数量相等时，水印中断置位。FIFO继续收集采样点，直到填满(x、y和z轴测量的32位采样点)，然后停止收集数据。FIFO停止收集数据后，该器件继续工作，因此，FIFO填满后，敲击检测等功能可以使用。水印中断继续发生，直到FIFO采样点数少于FIFO_CTL寄存器的采样点存储值。

流模式

在流模式下，x、y、z轴的测量数据存储存储在FIFO中。当FIFO中的采样点数与FIFO_CTL寄存器(地址0x38)采样点规定的数量相等时，水印中断置位。FIFO继续收集采样点，保存从x、y和z轴收集的最近32位采样点。新数据更新后，丢弃旧数据。水印中断继续发生，直到FIFO采样点数少于FIFO_CTL寄存器的采样点存储值。

ADXL350

触发模式

触发模式下，FIFO收集采样点，保存从x、y和z轴收集的最近32位采样点。触发事件发生后，中断被发送到INT1引脚或INT2引脚(取决于FIFO_CTL寄存器的触发位)，FIFO保持最后n个采样点(其中n为FIFO_CTL寄存器采样点位规定值)，然后在FIFO模式下运行，只有FIFO没有填满时，才会收集新采样点。

从触发事件发生到开始从FIFO读取数据，至少有5 μs延迟，允许FIFO丢弃和保留必要采样点。触发模式复位后，才能识别附加触发事件。要复位触发器模式，请将器件设为旁路模式，然后再设置回触发模式。请注意，应首先读取FIFO数据，因为进入旁路模式时，会清零FIFO。

从FIFO中读取数据

从DATA_X、DATA_Y和DATA_Z寄存器(地址0x32至0x37)读取FIFO数据。当FIFO为FIFO模式、流模式或触发模式时，DATA_X、DATA_Y和DATA_Z寄存器读取存储在FIFO中的数据。每次从FIFO读取数据，x、y和z轴的最早数据存入DATA_X、DATA_Y和DATA_Z寄存器。

如果执行单字节读取操作，当前FIFO采样点的剩余数据字节会丢失。因此，所有目标轴应以突发(或多字节)读取操作进行读取。为确保FIFO完全弹出(即新数据完全移动到DATA_X、DATA_Y和DATA_Z寄存器)，读取数据寄存器结束后至FIFO重新读取或FIFO_STATUS寄存器(地址0x39)读取前，至少必须有5 μs延迟。读取数据寄存器结束的标志为从寄存器0x37至寄存器0x38的转变或CS引脚变为高电平。

对于1.6 MHz或更低频率下的SPI操作，传输的寄存器处理部分充分延迟，确保FIFO完全弹出。对于大于1.6 MHz频率下的SPI操作，有必要复位CS引脚来确保5 μs的总延迟；否则，延迟会不充分。5 MHz操作所需的总延迟时间最多为3.4 μs。使用I²C模式时，不用担心这个问题，因为通信速率足够低，确保FIFO读取间存在充分延迟。

自测

ADXL350具备自测功能，可同时有效测试机械系统和电子系统。自测功能使能时(通过DATA_FORMAT寄存器(地址0x31)的SELF_TEST位)，有静电力施加于机械传感器之上。与加速度同样的方式，静电力驱使力敏传感元件移动，且有助于器件体验加速度。增加的静电力导致x、y和z轴上的输出变化。静电力与V_s²成比例，因此输出随V_s而变化。

ADXL350的自测特性还具有双峰性，具体取决于时钟自测的哪一个相位被使能。然而，表1和表13至表16所示的限值对容许电压范围内所有潜在的自测值都有效。在低于100 Hz的数据速率下，使用自测功能可能产生超出这些限值的值。因此，使用自测功能时，器件的数据速率应等于或大于100 Hz。

表13. ±1 g的自测输出(LSB)，10位分辨率或任何g范围、全分辨率

轴	最小值	最大值	单位
X	100	1180	LSB
Y	−1180	−100	LSB
Z	150	1850	LSB

表14. ±2 g的自测输出(LSB)，10位分辨率

轴	最小值	最大值	单位
X	50	590	LSB
Y	−590	−50	LSB
Z	75	925	LSB

表15. ±4 g的自测输出(LSB)，10位分辨率

轴	最小值	最大值	单位
X	25	295	LSB
Y	−295	−25	LSB
Z	38	463	LSB

表16. ±8 g的自测输出(LSB)，10位分辨率

轴	最小值	最大值	单位
X	12	148	LSB
Y	−148	−12	LSB
Z	19	232	LSB

寄存器映射

表17. 寄存器存储区分配

地址		名称	类型	复位值	描述
十六进制	十进制				
0x00	0	DEVID	R	11100101	器件ID。
0x01至0x01C	1至28	保留			保留。不要操作。
0x1D	29	THRESH_TAP	R/ $\overline{W}$	00000000	敲击阈值。
0x1E	30	OFSX	R/ $\overline{W}$	00000000	X轴偏移。
0x1F	31	OFSY	R/ $\overline{W}$	00000000	Y轴偏移。
0x20	32	OFSZ	R/ $\overline{W}$	00000000	Z轴偏移。
0x21	33	DUR	R/ $\overline{W}$	00000000	敲击持续时间。
0x22	34	Latent	R/ $\overline{W}$	00000000	敲击延迟。
0x23	35	Window	R/ $\overline{W}$	00000000	敲击窗口。
0x24	36	THRESH_ACT	R/ $\overline{W}$	00000000	运动阈值。
0x25	37	THRESH_INACT	R/ $\overline{W}$	00000000	非运动阈值。
0x26	38	TIME_INACT	R/ $\overline{W}$	00000000	非运动时间。
0x27	39	ACT_INACT_CTL	R/ $\overline{W}$	00000000	轴使能控制运动和非运动检测。
0x28	40	THRESH_FF	R/ $\overline{W}$	00000000	自由落体阈值。
0x29	41	TIME_FF	R/ $\overline{W}$	00000000	自由落体时间。
0x2A	42	TAP_AXES	R/ $\overline{W}$	00000000	单击/双击轴控制。
0x2B	43	ACT_TAP_STATUS	R	00000000	单击/双击源。
0x2C	44	BW_RATE	R/ $\overline{W}$	00001010	数据速率及功耗模式控制。
0x2D	45	POWER_CTL	R/ $\overline{W}$	00000000	省电特性控制。
0x2E	46	INT_ENABLE	R/ $\overline{W}$	00000000	中断使能控制。
0x2F	47	INT_MAP	R/ $\overline{W}$	00000000	中断映射控制。
0x30	48	INT_SOURCE	R	00000010	中断源。
0x31	49	DATA_FORMAT	R/ $\overline{W}$	00000000	数据格式控制。
0x32	50	DATA0	R	00000000	X轴数据0。
0x33	51	DATA1	R	00000000	X轴数据1。
0x34	52	DATA0	R	00000000	Y轴数据0。
0x35	53	DATA1	R	00000000	Y轴数据1。
0x36	54	DATA0	R	00000000	Z轴数据0。
0x37	55	DATA1	R	00000000	Z轴数据1。
0x38	56	FIFO_CTL	R/ $\overline{W}$	00000000	FIFO控制。
0x39	57	FIFO_STATUS	R	00000000	FIFO状态。

ADXL350

寄存器定义

寄存器0x00—DEVID(只读)

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	1	1	0	0	1	0	1

DEVID寄存器保存固定器件ID代码0xE5(345八进制)。

寄存器0x1D—THRESH_TAP(读/写)

THRESH_TAP寄存器为8位寄存器，保存敲击中断的阈值。数据格式无符号，因此，敲击事件的幅度与THRESH_TAP寄存器的值进行比较。比例因子为31.2 mg/LSB(即0xFF = +8 g)。如果使能单击/双击中断，值为0可能导致工作异常。

寄存器0x1E、0x1F、0x20—OFSX、OFSY、OFSZ(读/写)

OFSX、OFSY和OFSZ寄存器都为8位寄存器，在二进制补码格式中提供用户设置偏移调整，比例因子为7.8 mg/LSB(即0x7F = +1 g)。

寄存器0x21—DUR(读/写)

DUR为8位寄存器，包含无符号时间值，表示一个事件要成为合格的敲击事件，其持续时间必须长于THRESH_TAP阈值的最大时间。比例因子为625 μ s/LSB。值为0时，禁用单击/双击功能。

寄存器0x22—Latent(读/写)

Latent寄存器为8位寄存器，包含无符号时间值，表示从敲击事件检测到时间窗口(由Window寄存器定义)开始的等待时间，在此期间，能检测出可能的第二次敲击事件。比例因子为1.25 ms/LSB。值为0时，禁用双击功能。

寄存器0x23—Window(读/写)

Window寄存器为8位寄存器，包含无符号时间值，表示延迟时间(由Latent寄存器确定)期满后的时间量，在此期间，可以开始进行第二次有效敲击。比例因子为1.25 ms/LSB。值为0时，禁用双击功能。

寄存器0x24—THRESH_ACT(读/写)

THRESH_ACT寄存器为8位寄存器，保存活动检测的阈值。数据格式无符号；因此，活动事件的幅度与THRESH_ACT寄存器的值进行比较。比例因子为31.2 mg/LSB。如果使能活动中断，值为0可能导致工作异常。

寄存器0x25—THRESH_INACT(读/写)

THRESH_INACT寄存器为8位寄存器，保存静止检测的阈值。数据格式无符号；因此，静止事件的幅度与THRESH_INACT寄存器的值进行比较。比例因子为

31.2 mg/LSB。如果使能静止中断，值为0 mg可能导致工作异常。

寄存器0x26—TIME_INACT(读/写)

TIME_INACT寄存器为8位寄存器，包含无符号时间值，表示加速度值必须在多长时间内小于THRESH_INACT寄存器中值，才能宣布静止状态。比例因子为1 sec /LSB。有别于其他使用未滤波数据(见阈值部分)的中断功能，静止功能采用滤波输出数据。要触发静止中断，必须生成至少一个输出采样点。如果TIME_INACT寄存器设置值小于输出数据速率的时间常数，将导致功能反应迟钝。当输出数据小于THRESH_INACT寄存器的值，值为0导致中断。

寄存器0x27—ACT_INACT_CTL(读/写)

D7	D6	D5	D4
ACT ac/dc	ACT_X enable	ACT_Y enable	ACT_Z enable
D3	D2	D1	D0
INACT ac/dc	INACT_X enable	INACT_Y enable	INACT_Z enable

ACT AC/DC和INACT AC/DC位

设置为0时，选择直流耦合操作；设置为1时，则使能交流耦合操作。在直流耦合工作模式下，将当前加速度幅度直接与THRESH_ACT和THRESH_INACT进行比较，以确定检测到的是活动还是静止。

在活动检测的交流耦合工作模式下，活动检测开始时的加速度值为参考值。在此基础上，将新的加速度采样与该参考值进行比较，如果差值幅度超过THRESH_ACT值，则器件会触发活动中断。

同样，在静止检测的交流耦合工作模式下，用参考值进行比较，并在器件超过静止阈值时更新该参考值。选择参考值之后，器件将参考值与当前加速度的差值幅度与THRESH_INACT进行比较。如果在TIME_INACT中设定的时间内差值低于THRESH_INACT的值，则认为器件处于静止状态，并触发静止中断。

ACT_x Enable位和INACT_x Enable位

设置为1时，使能x、y或z轴参与检测活动或静止。设置为0时，从参与项排除选定轴。如果所有轴都被排除，该功能禁用。

寄存器0x28—THRESH_FF(读/写)

THRESH_FF寄存器为8位寄存器，保存自由落体检测的无符号格式阈值。计算所有轴的和方根(RSS)值并与THRESH_FF的值比较，以确定是否发生自由落体事件。比例因子为31.2 mg/LSB。

注意，如果使能自由落体中断，值为0 mg可能导致工作异常。推荐使用300 mg到600 mg(0x0A至0x13)的值。

寄存器0x29—TIME_FF(读/写)

TIME_FF寄存器为8位寄存器，存储无符号时间值，表示为产生自由落体中断，所有轴的RSS值必须小于THRESH_FF的最短时间。比例因子为5 ms/LSB。如果使能自由落体中断，值为0可能导致工作异常。推荐使用100 ms到350 ms(0x14至0x46)的值。

寄存器0x2A—TAP_AXES(读/写)

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	Suppress	TAP_X enable	TAP_Y enable	TAP_Z enable

Suppress位

如果两次敲击之间出现大于THRESH_TAP值的加速度，设置Suppress位会抑制双击检测。详情见“敲击检测”部分。

TAP_x Enable位

TAP_X enable、TAP_Y enable或TAP_Z enable位设置为1时，使能x轴、y轴或z轴进行敲击检测。设置为0时，从敲击检测参与项排除选定轴。

寄存器0x2B—ACT_TAP_STATUS(只读)

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	ACT_X source	ACT_Y source	ACT_Z source	Asleep	TAP_X source	TAP_Y source	TAP_Z source

ACT_x Source和TAP_x Source位

这些位表示涉及敲击或活动事件的第一个轴。设置为1时，表示参与事件；设置为0时，表示未参与事件。新数据可用时，这些位不会清零，而是被新数据覆盖。中断清零前，应读取ACT_TAP_STATUS寄存器。当下一活动或单击/双击事件发生时，禁用某个轴参与将把相应来源位清零。

Asleep位

Asleep位设置为1，表示器件为休眠状态，设置为0表示非休眠状态。有关自动休眠模式的更多信息，参见“寄存器0x2D—POWER_CTL(读/写)”部分。

寄存器0x2C—BW_RATE(读/写)

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	LOW_POWER	Rate			

LOW_POWER位

LOW_POWER位设置为0时，选择正常操作；设置为1时，选择低功率操作，而此时噪声有所增加(详情见“功耗模式”部分)。

Rate位

这些位选择器件带宽和输出数据速率(详见表7和表8)。默认值为0x0A，相当于100 Hz的输出数据速率。应选择适合所选通信协议和频率的输出数据速率。选择过高输出数据速率和低通信速度会导致采样丢失。

寄存器0x2D—POWER_CTL(读/写)

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	Link	AUTO_SLEEP	Measure	Sleep	Wakeup	

Link位

当Link位设置为1且活动和静止功能均使能时，活动功能启动将延迟，直至检测到静止。检测到活动后，静止检测开始，活动检测停止。该位链接活动和静止功能。此位设置为0时，静止功能和活动功能同时进行。其他信息参见链接模式部分。

Link位清0后，建议将器件置于待机模式，然后复位为测量模式，随后写入。这样做是为了确保如果手动禁用休眠模式，该器件适当偏置，否则，Link位后的前几个数据采样点清零后，可能会有额外的噪声，特别是该位清零后器件为休眠状态时。

AUTO_SLEEP位

如果链接位置位，通过将AUTO_SLEEP位设为1，可使ADXL350在检测到非运动时(即加速度小于THRESH_IN-ACT值并且至少持续了TIME_INACT中指定的时间)切换到休眠模式。设为0时则禁止自动切换至休眠模式。有关更多信息，请参见本节的休眠位描述。

AUTO_SLEEP清零后，建议将器件置于待机模式，然后复位为测量模式，随后写入。这样做是为了确保如果手动禁用睡眠模式，该器件适当偏置，否则，AUTO_SLEEP位后的前几个数据采样点清零后，可能会有额外的噪声，特别是该位清零后器件为休眠状态时。

Measure位

Measure位设置为0时，将器件置于待机模式；设置为1，则置于测量模式。ADXL350以功耗最小的待机模式上电。

Sleep位

Sleep位设置为0时，将器件置于普通工作模式；设置为1时，置于休眠模式。休眠模式会抑制DATA_READY，停止对FIFO的数据传输，并将采样速率切换至Wakeup位规定的值。休眠模式下，只有活动功能可以使用。

ADXL350

休眠位清零后，建议将器件置于待机模式，然后复位为测量模式，随后写入。这样做是为了确保如果手动禁用睡眠模式，该器件适当偏置，否则，休眠位后的前几个数据采样点清零后，可能会有额外的噪声，特别是该位清零后器件为休眠状态时。

Wakeup位

如表18所述，这些位控制休眠模式下的读取频率。

表18. 休眠模式下的读取频率

设置		频率(Hz)
D1	D0	
0	0	8
0	1	4
1	0	2
1	1	1

寄存器0x2E—INT_ENABLE(读/写)

D7 DATA_READY	D6 SINGLE_TAP	D5 DOUBLE_TAP	D4 Activity
D3 Inactivity	D2 FREE_FALL	D1 Watermark	D0 Overrun

通过该寄存器的各个位设置为1，可以使能相应功能来生成中断；设置为0时，则阻止这些功能产生中断。DATA_READY位、Watermark位和Overrun位仅使能中断输出；这些功能总是处于使能状态。建议在使能其输出前进行中断配置。

寄存器0x2F—INT_MAP(读/写)

D7 DATA_READY	D6 SINGLE_TAP	D5 DOUBLE_TAP	D4 Activity
D3 Inactivity	D2 FREE_FALL	D1 Watermark	D0 Overrun

该寄存器的任意位设置为0时，将发送对应中断到INT1引脚；设置为1时，则发送到INT2引脚。给定引脚的所有选定中断都为逻辑“或”。

寄存器0x30—INT_SOURCE(只读)

D7 DATA_READY	D6 SINGLE_TAP	D5 DOUBLE_TAP	D4 Activity
D3 Inactivity	D2 FREE_FALL	D1 Watermark	D0 Overrun

该寄存器中的位设为1表示对应功能已触发事件，设为0则表示没有相应的事件发生。不管INT_ENABLE寄存器设置如何，如果有相应的事件发生，DATA_READY位、Watermark位和Overrun位始终会置位，并通过读取DATA_X、DATA_Y和DATA_Z寄存器数据来清零。如FIFO部分的FIFO模式描述所述，DATA_READY和Watermark位可能需要多次读取。通过读取INT_SOURCE寄存器，其他位和相应的中断清零。

寄存器0x31—DATA_FORMAT(读/写)

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
SELF_TEST	SPI	INT_INVERT	0	FULL_RES	Justify	Range	

DATA_FORMAT寄存器控制寄存器0x32至寄存器0x37的数据显示。除 $\pm 8g$ 范围以外的所有数据都会内部剪除，避免翻转。

SELF_TEST位

SELF_TEST位设置为1时，自测力作用于传感器，造成输出数据转换。值为0时，禁用自测力。

SPI位

SPI位值为1时，将器件置于3线式SPI模式；值为0时，则将器件置于4线式SPI模式。

INT_INVERT位

INT_INVERT位值为0时，将中断设为高电平有效；值为1时，则将中断设为低电平有效。

FULL_RES位

当此位值设置为1时，该器件为全分辨率模式，输出分辨率随着范围位设置的g范围以2 mg/LSB的比例因子而增加。FULL_RES位设置为0时，该器件为10位模式，Range位决定最大g范围和比例因子。

Justify位

Justify位设置为1时，选择左对齐(MSB)模式；设置为0时，选择右对齐模式，并带有符号扩展功能。

Range位

这些位设置g范围，如表19所述。

表19. g范围设置

设置		g范围
D1	D0	
0	0	$\pm 1g$
0	1	$\pm 2g$
1	0	$\pm 4g$
1	1	$\pm 8g$

寄存器0x32至0x37—DATAx0、DATAx1、DATAy0、DATAy1、DATAz0和DATAz1(只读)

这6个字节(寄存器0x32至寄存器0x37)都是8位，用于保存各轴的输出数据。寄存器0x32和0x33保存x轴输出数据，寄存器0x34和0x35保存y轴输出数据，寄存器0x36和0x37则保存z轴输出数据。输出数据为二进制补码，DATAx0为最低有效字节，DATAx1为最高有效字节，其中x代表X、Y或Z。DATA_FORMAT寄存器(地址0x31)控制数据格式。建议所有寄存器执行多字节读取，以防止相继寄存器读取之间的数据变化。

寄存器0x38—FIFO_CTL(读/写)

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
FIFO_MODE		Trigger	Samples				

FIFO_MODE位

这些位设置FIFO模式，如表20所述。

表20. FIFO模式

设置		模式	功能
D7	D6		
0	0	旁路	FIFO旁路。
0	1	FIFO	FIFO收集多达32个值，然后停止收集数据，只有FIFO未填满时，才收集新的数据。
1	0	流	FIFO保存最后32个数据值。FIFO填满时，新数据覆盖最早的数据。
1	1	触发	通过触发位触发时，FIFO保存触发事件前的最后数据采样点，然后继续收集数据，直到填满。FIFO填满后，不再收集新的数据。

Trigger位

Trigger位值为0时，将触发模式下的触发事件链接至INT1；值为1时，则链接至INT2。

Samples位

这些位的功能取决于选定的FIFO模式(见表21)。Samples位设置值为0时，不管选择哪种FIFO模式，INT_SOURCE寄存器中的水印状态位都会立即置位。触发模式下，如果Samples位值为0，可能会出现工作异常。

表21. Samples位功能

FIFO模式	Samples位功能
旁路	无。
FIFO	指定触发水印中断需要的FIFO条目数。
流	指定触发水印中断需要的FIFO条目数。
触发	指定触发事件之前在FIFO缓冲区要保留的FIFO采样点数。

0x39—FIFO_STATUS(只读)

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
FIFO_TRIG		0	Entries				

FIFO_TRIG位

FIFO_TRIG位值为1表示有触发事件发生，值为0则表示无FIFO触发事件发生。

Entries位

这些位报告FIFO存储的数据值数量。通过DATAx、DATAy和DATAz寄存器，可从FIFO收集数据。FIFO应采取突发读取模式或多字节读取模式，因为FIFO的任意(单字节或多字节)读取后，每个FIFO水平清零。FIFO可最多存储32个条目，相当于任何时间内最多有33项条目，因为器件的输出滤波器有一项附加条目。

应用信息

电源去耦

建议在 V_S 处连接一个 $1\mu\text{F}$ 钽电容(C_S),并在 $V_{DD\text{ I/O}}$ 处连接一个 $0.1\mu\text{F}$ 陶瓷电容(C_{IO}),且这两个电容应置于ADXL350电源引脚附近,以便用于测试和对加速度计进行充分去耦,从而消除电源噪声。如果需要进一步去耦,与 V_S 串联一个不大于 100Ω 的电阻或氧化铁磁珠,可能会有所帮助。此外,将 V_S 上的旁路电容增加到 $10\mu\text{F}$ 钽电容与 $0.1\mu\text{F}$ 陶瓷电容并联,也可以改善噪声。

应注意确保ADXL350地与电源地之间的连接具有低阻抗,因为通过地传输的噪声与通过 V_S 传输的噪声具有类似效果。建议 V_S 和 $V_{DD\text{ I/O}}$ 采用单独的电源,以尽量减少 V_S 电源的数字时钟噪声。如果不可行,如前面提到的,可能需要对电源进行额外滤波。

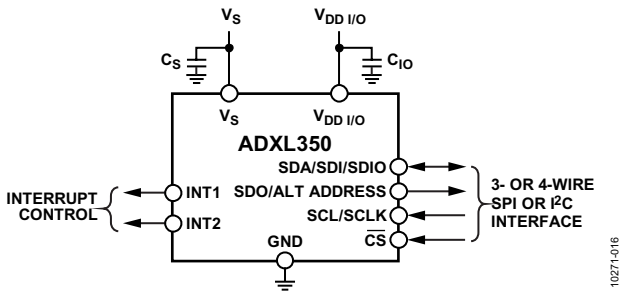


图58. 应用框图

机械安装注意事项

ADXL350应安装在PCB牢固安装点附近位置。如图59所示,如将ADXL350安装在无支撑的PCB位置,由于PCB振动的未受到抑制,可能会导致明显测量误差。将加速度计安装在牢固安置点附近,确保加速度计上的任何PCB振动高于加速度计的机械传感器的共振频率,从而加速度计的振动实际可忽略。

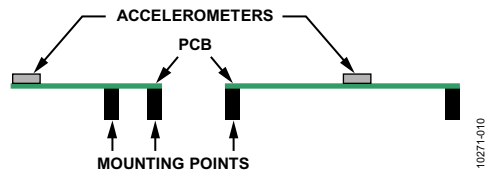


图59. 错误放置的加速度计

敲击检测

敲击中断功能能够进行单击或双击检测。如图60所示,下列为有效单击和双击事件的参数:

- 敲击检测阈值由THRESH_TAP寄存器(地址0x1D)定义。

- 最大敲击持续时间由DUR寄存器(地址0x21)定义。
- 敲击延迟时间由Latent寄存器(地址0x22)定义,即从第一次敲击结束到可以检测第二次敲击的时间窗口开始的等待期间,时间窗口由Window寄存器(地址0x23)的值决定。
- 延迟时间(由Latent寄存器设置)之后的间隔由Window寄存器定义。尽管延迟时间过后必须开始第二次敲击,但不需要在Window寄存器定义的时间结束前完成。

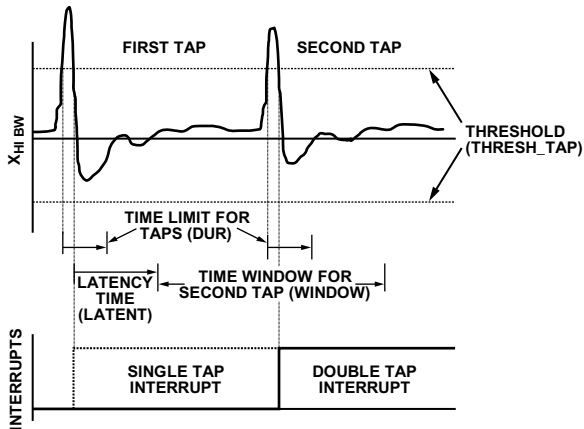


图60. 有效单击和双击的敲击中断功能

如果只有单击功能在使用,只要没有超出DUR,则加速度低于阈值时,就会触发单击中断。如果单击和双击功能都在使用,则双击事件已验证或无效时,触发单击中断。

使双击事件的第二次敲击无效的事件有多种。第一,如果TAP_AXES寄存器(地址0x2A)的Suppress位设为1,延迟时间(由Latent寄存器设置)期间,阈值之上的任何加速度峰值都会使双击检测失效,如图61所示。

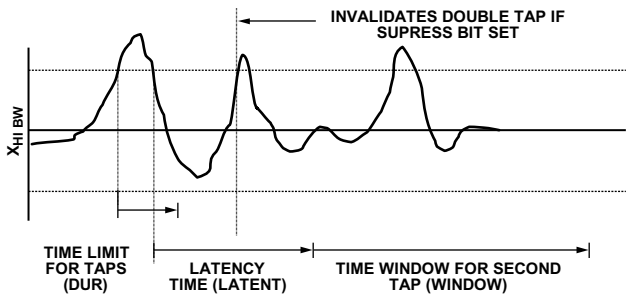


图61. Suppress位设为1时高g事件导致双击事件失效

如果第二次敲击的时间窗口(由window寄存器设置)开始时,检测到加速度在阈值以上,则双击事件也失效。如图62所示,这将导致窗口开始时的双击无效。

此外,如果加速度超过敲击的时间限制(由DUR寄存器设置),双击事件也可能失效,导致第二次敲击事件的DUR时间限制结束时双击无效,同样如图62所示。

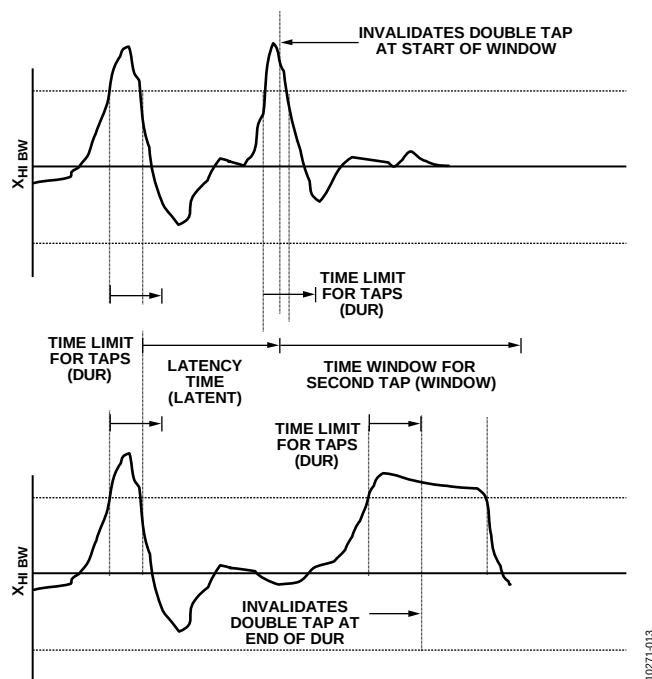


图62. 无效双击的敲击中断功能

设置INT_ENABLE寄存器(地址0x2E)的相应位,便可检测单击和/或双击。设置TAP_AXES寄存器(地址0x2A)的相应位,可以控制单击/双击检测的参与轴。为使双击功能工作,latent寄存器和window寄存器必须设置为非零值。

基于系统的机械特性,每个机械系统的单击/双击响应略有不同。因此,latent寄存器、window寄存器和THRESH_TAP寄存器的值必须进行一些试验。一般说来,最初设置为:latent寄存器的值大于0x10,window寄存器的值大于0x10,THRESH_TAP寄存器的值大于3 g。Latent寄存器、window寄存器或THRESH_TAP寄存器的值设置非常低时,可能导致不可预知的响应,因为加速度计会拾取敲击输入的回声。

接收敲击中断后,超过THRESH_TAP水平的第一个轴通过ACT_TAP_STATUS寄存器(地址0x2B)报告。该寄存器从不清零,但会用新的数据覆盖。

阈值

通过抽取器件内常见采样频率,可以实现较低的输出数据速率。活动、自由落体以及单击/双击检测功能使用未滤波数据执行。因为输出数据经过滤波后,检查加速度计输出时,用于确定活动、自由落体和单击/双击事件的高频率和高g数据可能不存在。这可能导致在加速度未触发一个事件时检测到触发事件,因为未滤波的数据可能超过一个阈值或低于一个阈值并持续一定的时间,但经过滤波的数据则未超过此阈值。

链接模式

Link位的功能是通过设置器件仅查找静止之后的活动,来减少处理器必须服务的活动中断数量。为确保该功能正常工作,处理器必须仍能通过读取INT_SOURCE寄存器(地址0x30)进而清除中断来响应活动和静止中断。如果活动中断不清除,器件无法进入自动休眠模式。ACT_TAP_STATUS寄存器(地址0x2B)的asleep位指示器件是否处于休眠状态。

休眠模式与低功耗模式

在低数据速率满足需求且要求低功耗的应用中,建议将低功耗模式和FIFO结合使用。休眠模式虽然能提供低数据速率和低平均功耗,但会抑制DATA_READY中断,当数据就绪可供收集时,加速度计无法向主处理器发送中断信号。这种应用中,将器件置于低功耗模式(BW_RATE寄存器的LOW_POWER位置1)并在FIFO模式下使能FIFO以收集大量样本,可以降低ADXL350的功耗,并允许主处理器在FIFO填充时进入休眠状态。

偏移校准

加速度计为机械结构,包含可以自由移动的元素。这些活动部件对机械应力非常灵敏,程度远远超过固态电子产品。0 g偏置或偏移为重要加速度计指标,因为它定义了加速度测量的基线。组装含有加速度计的系统时,可能会施加额外的应力。这些应力可能来自(但不限于):元件焊接、安装时的电路板应力和元件上涂抹的任何混合物。如果有必要校准,建议系统组装完成后进行校准,以补偿这些影响。

假设ADXL350灵敏度如表1所列,简单的校验方法是测量偏移。然后使用内置偏移寄存器,自动补偿该偏移量。这样,DATA寄存器收集的数据已经补偿偏移。

在无调头或单点校准方案中，器件方位如下：一个轴(通常为z轴)在1 g重力场，其余轴(通常是x和y轴)在0 g场。然后取一系列样本的平均值，测量其输出。系统设计人员可选择平均样本数，但对于100 Hz或更高数据率，建议初步选择0.1秒的有效数据。100 Hz数据速率时，这相当于10个样本。如果数据速率小于100 Hz，建议取至少10个样本的平均值。x轴、y轴上的0 g测量结果和z轴上的1 g测量结果分别存储为 X_{0g} 、 Y_{0g} 和 Z_{+1g} 。

X_{0g} 和 Y_{0g} 的实测值对应于x轴和y轴偏移，通过从加速度计输出中减去这些值进行补偿，以获取实际加速度：

$$X_{ACTUAL} = X_{MEAS} - X_{0g}$$

$$Y_{ACTUAL} = Y_{MEAS} - Y_{0g}$$

因为z轴测量在+1 g场完成，所以无调头或单点校准方案假定为z轴的理想灵敏度 S_z 。从 Z_{+1g} 减去该值得到z轴偏移，然后从未来测量值减去z轴偏移，获得实际值：

$$Z_{0g} = Z_{+1g} - S_z$$

$$Z_{ACTUAL} = Z_{MEAS} - Z_{0g}$$

使用偏移寄存器(寄存器0x1E、寄存器0x1F和寄存器0x20)，[ADXL350](#)可以自动补偿偏移输出。这些寄存器包含8位二进制补码值，该值自动与所有测得的加速度值相加，其结果置入DATA寄存器。置于偏移寄存器的值为附加值，负值置于寄存器会消除正偏移，反之则会消除负偏移。该寄存器的比例因子为7.8 mg/LSB，与选定的g范围无关。

举例来说，假设[ADXL350](#)处于全分辨率模式，灵敏度典型值为512 LSB/g。器件调整如下：z轴在重力场，x轴、y轴和z轴输出分别测得为+10 LSB、-13 LSB和+9 LSB。使用前面的公式， X_{0g} 为+10 LSB， Y_{0g} 为-13 LSB， Z_{0g} 为+9 LSB。全分辨率下，每个输出LSB为1.95 mg或偏移寄存器LSB的四分之一。由于偏移寄存器为附加寄存器，0 g值被否定，并四舍五入至最接近的偏移寄存器LSB：

$$X_{OFFSET} = -\text{Round}(10/4) = -3 \text{ LSB}$$

$$Y_{OFFSET} = -\text{Round}(-13/4) = 3 \text{ LSB}$$

$$Z_{OFFSET} = -\text{Round}(9/4) = -2 \text{ LSB}$$

这些值编程至OFSX寄存器、OFSY寄存器和OFXZ寄存器，分别为0xFD、0x03和0xFE。与[ADXL350](#)的所有寄存器一

样，当器件电源移除后，偏移寄存器不保留写入的值。重新启动[ADXL350](#)后，偏移寄存器回到默认值0x00。

由于无调头或单点校准方法假定z轴为理想灵敏度，因此任何灵敏度误差都会导致偏移误差。为了减少这种误差，可以额外选取z轴在0 g场的测量点， Z_{ACTUAL} 公式可使用0 g测量结果。

使用自测

自测变化定义为使能自测时轴的加速度输出与自测禁用时同一轴的加速度输出之间的差值(见表1的尾注4)。该定义假设传感器不在这两个测量间移动，因为如果传感器移动，非自测相关移位会破坏测试。

准确的自测测量要求[ADXL350](#)正确配置。器件应设置成大于或等于100 Hz的数据速率。这样做是为了确保向BW_RATE寄存器(地址0x2C)的速率位(位D0至位D3)写入大于或等于0x0A的值。

此外建议将器件设置为±8 g模式，以确保整个自测移位有足够的动态范围。这可通过将DATA_FORMAT寄存器(地址0x31)的位D3置1并将值0x03写入DATA_FORMAT寄存器(地址0x31)的范围位(位D1和位D0)来完成。这将产生很高的测量动态范围和2 mg/LSB的比例因子。

针对准确自测测量对器件进行配置后，应从传感器读取x轴、y轴和z轴加速度数据的多个样本并取平均值。系统设计人员可选择取平均值的样本数，但建议起点为0.1秒的有效数据，也就相当于在数据速率为100 Hz时选择10个样本。平均值应储存并适当标记为自测禁用数据，即 X_{ST_OFF} 、 Y_{ST_OFF} 和 Z_{ST_OFF} 。

然后，应将DATA_FORMAT寄存器(地址0x31)的位D7置1来使能自测。使能自测后，输出需要一些时间(约4个样本)来建立。输出建立后，应再次捕获x轴、y轴和z轴加速度数据的多个样本并取平均值。建议选择与之前相同数量的样本来求取此平均值。平均值应再次储存并适当标记为自测使能数据，即 X_{ST_ON} 、 Y_{ST_ON} 和 Z_{ST_ON} 。然后，通过将DATA_FORMAT寄存器(地址0x31)的位D7清零来禁用自测。

根据自测使能时和禁用时的存储值来计算自测变化，如下所示：

$$X_{ST} = X_{ST_ON} - X_{ST_OFF}$$

$$Y_{ST} = Y_{ST_ON} - Y_{ST_OFF}$$

$$Z_{ST} = Z_{ST_ON} - Z_{ST_OFF}$$

由于各轴的测量输出以LSB表示，因此 X_{ST} 、 Y_{ST} 和 Z_{ST} 也同样以LSB表示。如果配置为全分辨率8 g模式，这些值可以转换为加速度的g值，方法是用2 mg/LSB的比例因子乘以每个值。另外，表13至表16对应于转换为LSB的自测范围，可以与实测自测范围进行比较。如果器件处于全分辨率8 g模式，应使用表13所列的值。虽然可使用固定10位模式或

8 g以外的范围，但这将需要使用一组不同的值，如表14至表16所示。使用低于8 g的范围可能会导致动态范围不足，在选择自测测量的操作范围时应考虑到这点。此外，注意表1中的范围和表13至表16中的值考虑了所有可能的电源电压 V_S 和无额外转换情况，因为 V_S 是必需的。

如果自测变化在有效范围内，测试被认为是成功的。一般来说，如果实现最小的变化幅度，器件视为合格。不过，变化大于最大幅度的器件不一定有故障。

ADXL350

加速度灵敏度轴

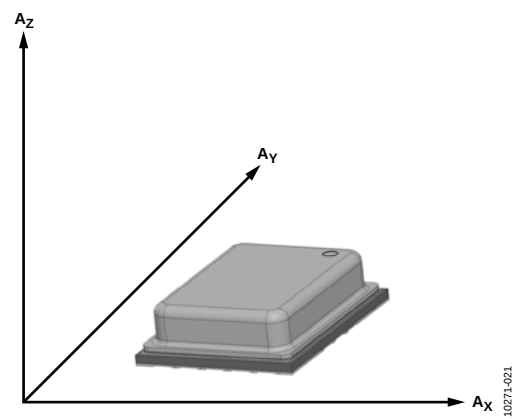


图63. 加速度灵敏度轴(沿敏感轴加速时相应输出电压增加)

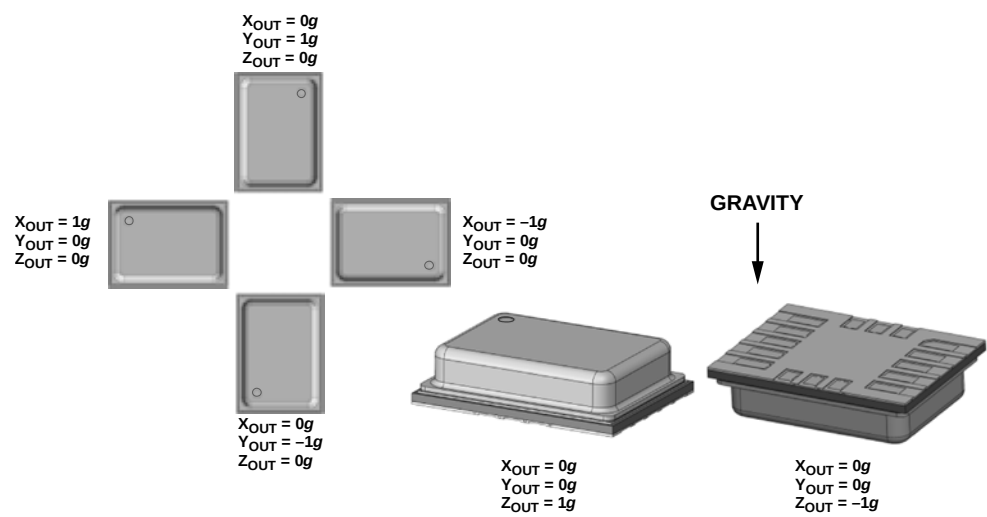


图64. 输出响应与相对于重力的方向的关系

布局和设计建议

图65给出了推荐的印刷电路板焊盘图形。图66和表22提供了有关推荐焊接温度曲线的详细信息。

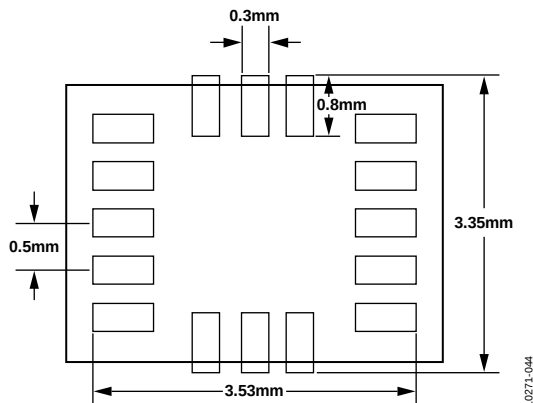


图65. 推荐的印刷电路板焊盘图形(图示尺寸单位: mm)

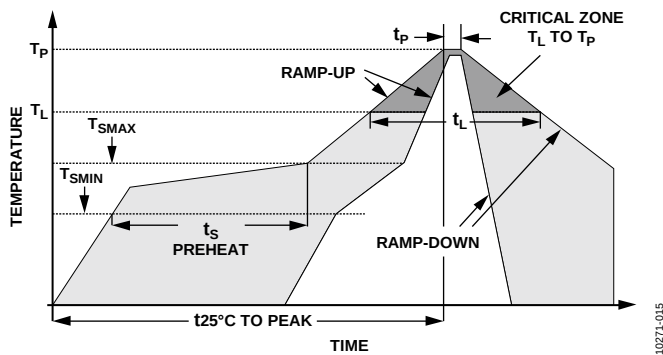


图66 推荐的焊接温度曲线

表22. 推荐的焊接温度曲线^{1,2}

曲线特征	条件	
	Sn63/Pb37	Pb-Free
液态温度(T_L)至峰值温度(T_P)的平均斜坡速率	3°C/秒, 最大值	3°C/秒, 最大值
预热		
最低温度(T_{SMIN})	100°C	150°C
最高温度(T_{SMAX})	150°C	200°C
从 T_{SMIN} 到 T_{SMAX} 的时间(t_s)	60秒至120秒	60秒至180秒
T_{SMAX} 至 T_L 斜坡速率	3°C/秒, 最大值	3°C/秒, 最大值
液态温度(T_L)	183°C	217°C
T_L 以上维持时间(t_L)	60秒至150秒	60秒至150秒
峰值温度(T_P)	240 + 0/-5°C	260 + 0/-5°C
实际 T_P 至5°C时间(t_p)	10秒至30秒	20秒至40秒
下斜坡速率	6°C/秒, 最大值	6°C/秒, 最大值
从25°C至峰值温度的时间	6分钟, 最大值	8分钟, 最大值

¹ 基于JEDEC标准J-STD-020D.1
² 要得到最好结果, 焊接外形应符合所用焊膏厂家的推荐规范。

ADXL350

外形尺寸

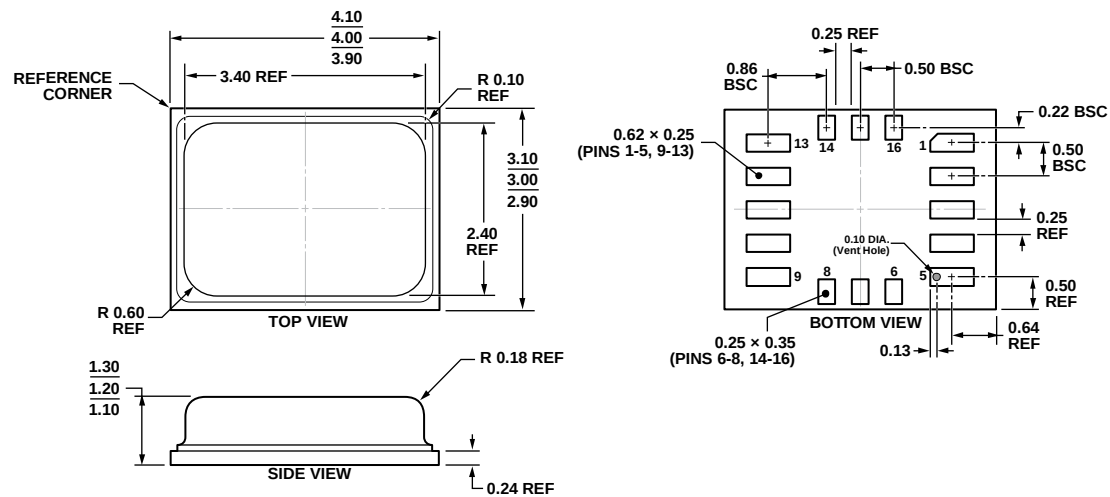


图67. 16引脚芯片阵列小型封装、无引脚空腔[LGA_CAV]
主体4.00 mm × 3.00 mm × 1.2 mm
(CE-16-3)
图示尺寸单位: mm

07-13-2012B

订购指南

型号 ¹	测量范围(g)	额定电压(V)	温度范围	封装描述	封装选项
ADXL350BCEZ-RL	±1, ±2, ±4, ±8	2.5	−40°C至+85°C	16引脚 [LGA_CAV]	CE-16-3
ADXL350BCEZ-RL7	±1, ±2, ±4, ±8	2.5	−40°C至+85°C	16引脚 [LGA_CAV]	CE-16-3
EVAL-ADXL350Z				评估板	
EVAL-ADXL350Z-M				ADI公司的惯性传感器评估系统 (包括ADXL350卫星板)	
EVAL-ADXL350Z-S				ADXL350卫星板, 独立式	

¹ Z = 符合RoHS标准的器件。

注释

注释