

特性

超低功耗: $V_s = 2.6\text{ V}$ 时(典型值), 测量模式下低至 $23\text{ }\mu\text{A}$, 待机模式下为 $0.2\text{ }\mu\text{A}$

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, $\pm 16\text{ g}$ 时高达13位
(在所有 g 范围内保持 4 mg/LSB 的比例系数)

正在申请专利的嵌入式存储器管理系统采用FIFO技术, 可将主机处理器负荷降至最低

单击/双击检测

活动/非活动监控

自由落体检测

方向检测功能支持四位置和六位置同时检测

电源和I/O电压范围: 1.7 V 至 2.75 V

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: $3\text{ mm} \times 3\text{ mm} \times 0.95\text{ mm}$ LGA封装

应用

手机

医疗仪器

游戏和定点设备

工业仪器仪表

个人导航设备

硬盘驱动器(HDD)保护

概述

ADXL346是一款小而薄的超低功耗3轴加速度计, 分辨率高(13位), 测量范围达 $\pm 16\text{ g}$ 。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I²C数字接口访问。

ADXL346非常适合移动设备应用。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(4 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通过比较任意轴上的加速度与用户设置的阈值来检测有无运动发生。敲击检测功能可以检测任意方向的单击和双击动作。自由落体检测功能可以检测器件是否正在掉落。方向检测功能可以同时进行四位置和六位置检测, 并在方向变化时提供用户可选的中断功能, 适用于2D或3D应用。这些功能可以独立映射到两个中断输出引脚中的任意一个。正在申请专利的集成式存储器管理系统采用32级先进先出(FIFO)缓冲器, 可用于存储数据, 从而将主机处理器负荷降至最低, 并降低整体系统功耗。

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。

ADXL346采用 $3\text{ mm} \times 3\text{ mm} \times 0.95\text{ mm}$ 、16引脚小型超薄塑料封装。

功能框图

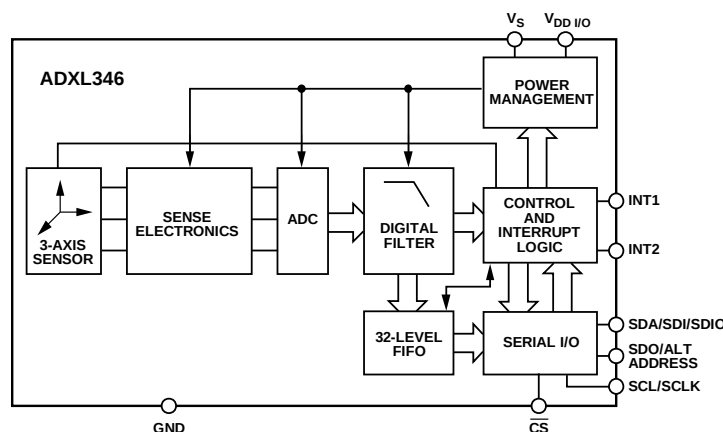


图1.

Rev. B

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 www.analog.com
Fax: 781.461.3113 ©2010–2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

ADI中文版数据手册是英文版数据手册的译文, 敬请谅解翻译中可能存在的语言组织或翻译错误, ADI不对翻译中存在的差异或由此产生的错误负责。如需确认任何词语的准确性, 请参考ADI提供的最新英文版数据手册。

目录

特性.....	1	寄存器定义	23
应用.....	1	应用信息	29
概述.....	1	电源去耦.....	29
功能框图.....	1	机械安装注意事项	29
修订历史.....	2	敲击检测.....	29
技术规格.....	3	改进的敲击检测.....	30
绝对最大额定值.....	5	敲击符号.....	30
热阻	5	阈值	31
封装信息.....	5	链接模式.....	31
ESD警告.....	5	休眠模式与低功耗模式	31
引脚配置和功能描述	6	偏移校准.....	31
典型性能参数	7	使用自测.....	32
工作原理	12	方向检测.....	32
电源时序.....	12	高位数据速率的数据格式	34
省电功能.....	13	噪声性能.....	35
串行通信	14	非2.6 V电压下的操作	35
SPI	14	最低数据速率时的偏移性能.....	36
I ² C.....	17	加速度灵敏度轴.....	37
中断	19	布局和设计建议.....	38
FIFO.....	20	外形尺寸	39
自测	21	订购指南.....	39
寄存器映射.....	22		

修订历史

2011年5月—修订版A至修订版B

增加尾注7.....	3
增加“防止总线流量错误”部分	14
更改图37、图38和图39	15
更改表12	18
更改“使用自测”部分	32
更改“加速度灵敏度轴”部分.....	37

2010年11月—修订版0至修订版A

更改“订购指南”.....	39
---------------	----

2010年5月—修订版0：初始版

技术规格

除非另有说明， $T_A = 25^\circ\text{C}$ ， $V_S = 2.6\text{ V}$ ， $V_{DD I/O} = 1.8\text{ V}$ ，加速度 = 0 g ， $C_S = 10\text{ }\mu\text{F}$ 钽电容， $C_{I/O} = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ ， $\text{ODR} = 800\text{ Hz}$ 。

表1. 技术规格

参数	测试条件	最小值 ¹	典型值 ²	最大值 ¹	单位
传感器输入	各轴				
测量范围	用户可选		$\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$		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 ³			± 1		%
输出分辨率	各轴				
所有 g 范围	10位分辨率		10		位
$\pm 2\text{ g}$ 范围	全分辨率		10		位
$\pm 4\text{ g}$ 范围	全分辨率		11		位
$\pm 8\text{ g}$ 范围	全分辨率		12		位
$\pm 16\text{ g}$ 范围	全分辨率		13		位
灵敏度	各轴				
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 、 Z_{OUT} 灵敏度	所有 g 范围，全分辨率	230	256	282	LSB/ g
	$\pm 2\text{ g}$ ，10位分辨率	230	256	282	LSB/ g
	$\pm 4\text{ g}$ ，10位分辨率	115	128	141	LSB/ g
	$\pm 8\text{ g}$ ，10位分辨率	57	64	71	LSB/ g
	$\pm 16\text{ g}$ ，10位分辨率	29	32	35	LSB/ g
相对于理想值的灵敏度偏差	所有 g 范围		± 1.0		%
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 和 Z_{OUT} 比例因子	所有 g 范围，全分辨率	3.5	3.9	4.3	mg/LSB
	$\pm 2\text{ g}$ ，10位分辨率	3.5	3.9	4.3	mg/LSB
	$\pm 4\text{ g}$ ，10位分辨率	7.1	7.8	8.7	mg/LSB
	$\pm 8\text{ g}$ ，10位分辨率	14.1	15.6	17.5	mg/LSB
	$\pm 16\text{ g}$ ，10位分辨率	28.6	31.2	34.5	mg/LSB
温度引起的灵敏度变化			± 0.02		%/ $^\circ\text{C}$
0 g 偏移	各轴				
X_{OUT} 、 Y_{OUT} 、 Z_{OUT} 的0 g 输出		-150	0	+150	mg
相对于理想值的0 g 输出偏差			± 35		mg
0 g 偏移与温度的关系，X、Y轴			± 0.7		mg/ $^\circ\text{C}$
0 g 偏移与温度的关系，Z轴			± 1.3		mg/ $^\circ\text{C}$
噪声					
X轴和Y轴	$\text{ODR} = 100\text{ Hz}$ ， $\pm 2\text{ g}$ 、 10位分辨率或所有 g 范围、 全分辨率		1.1		LSB rms
Z轴	$\text{ODR} = 100\text{ Hz}$ ， $\pm 2\text{ g}$ 、 10位分辨率或所有 g 范围、 全分辨率		1.5		LSB rms
输出数据速率和带宽	用户可选				
输出数据速率(ODR) ^{4, 5, 6, 7}		0.10		3200	Hz
自测 ⁸					
X轴上的输出变化		0.27		1.55	g
Y轴上的输出变化		-1.55		-0.27	g
Z轴上的输出变化		0.40		1.95	g
电源					
工作电压范围(V_S)		1.7	2.6	2.75	V
接口电压范围($V_{DD I/O}$)		1.7	1.8	V_S	V
测量模式电源电流	$\text{ODR} \geq 100\text{ Hz}$		140		μA
	$\text{ODR} < 10\text{ Hz}$		30		μA
待机模式电源电流			0.2		μA
开启和唤醒时间 ⁹	$\text{ODR} = 3200\text{ Hz}$		1.4		ms

ADXL346

参数	测试条件	最小值 ¹	典型值 ²	最大值 ¹	单位
温度 工作温度范围		−40		+85	°C
重量 器件重量			18		mg

¹ 保证所有最低和最高技术规格。不保证典型技术规格。

² 除了0 *g*输出和灵敏度以外，所示典型技术规格至少为器件总体的68%，并基于平均±1 σ 最差情况，表示为目标值。对于0 *g*偏移和灵敏度，相对于理想值的偏差描述了平均±1 σ 的最差情况。

³ 跨轴灵敏度定义为任意两轴之间的耦合。

⁴ 带宽为−3 dB频率，等于输出数据速率的一半，即带宽= ODR/2。

⁵ 3200 Hz和1600 Hz ODR的输出格式与其他ODR的输出格式不同。“高位数据速率的数据格式化”部分描述了此差异。

⁶ 输出数据速率低于6.25 Hz时，表示额外偏移随温度的增加而变化，取决于选定的输出数据速率。详情参见“最低数据速率时的偏移性能”部分。

⁷ 这是最低和最高输出数据速率设置下的典型值。

⁸ 自测变化定义为SELF_TEST位 = 1(DATA_FORMAT寄存器中，地址0x31)时的输出(*g*)减去SELF_TEST位 = 0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 × τ 后达到最终值，其中 τ = 1/(数据速率)。器件必须在正常功率下操作(BW_RATE寄存器中的LOW_POWER位= 0，地址0x2C)，以便自测正常运行。

⁹ 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 τ + 1.1 ms，其中 τ = 1/(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+3.0 V
V _{DD I/O}	−0.3 V至+3.0 V
数字引脚	−0.3 V至V _{DD I/O} + 0.3 V或3.0 V，取较小者
所有其它引脚	−0.3 V至+3.0 V
输出短路持续时间 (任意引脚接地)	不定
温度范围	
上电	−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，不表示在这些条件下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，器件能够正常工作。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	150°C/W	85°C/W	18 mg

封装信息

图2和表4中的信息提供了ADXL346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。

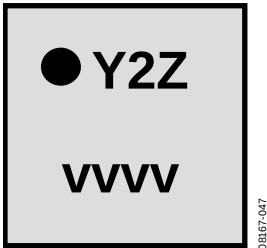


图2. 产品封装信息(顶视图)

表4. 封装标识信息

标识码	字段说明
Y2Z	ADXL346器件标识符
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。

ADXL346

引脚配置和功能描述

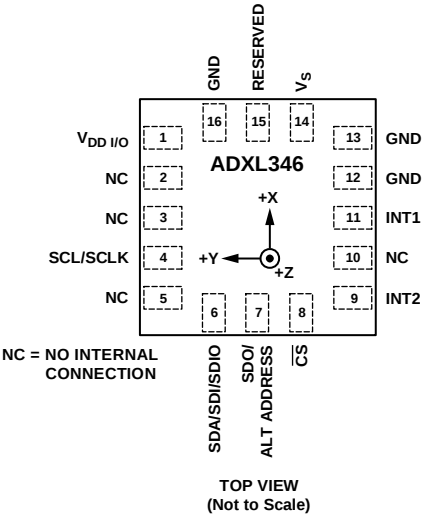
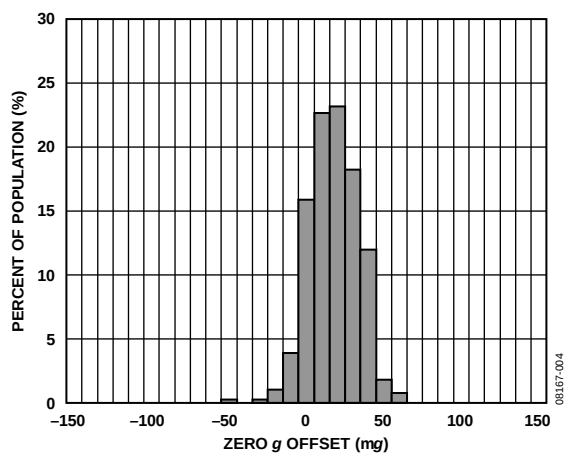
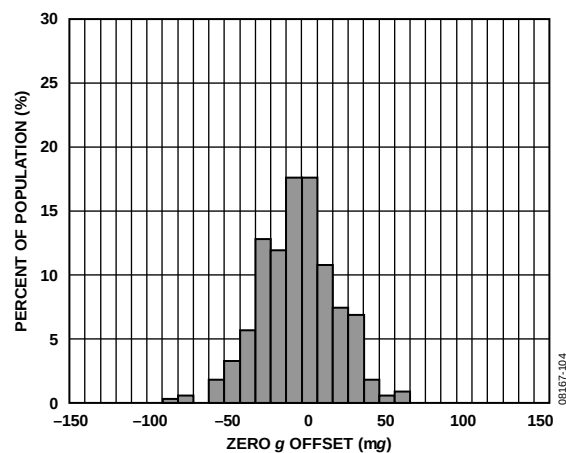
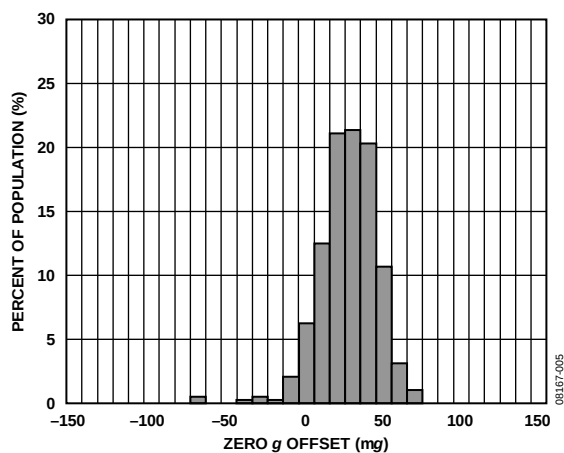
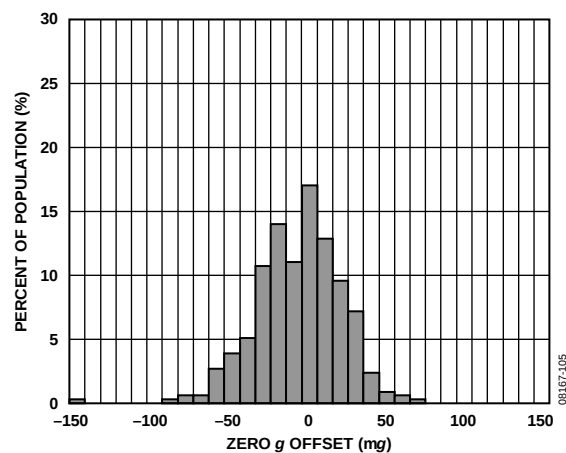
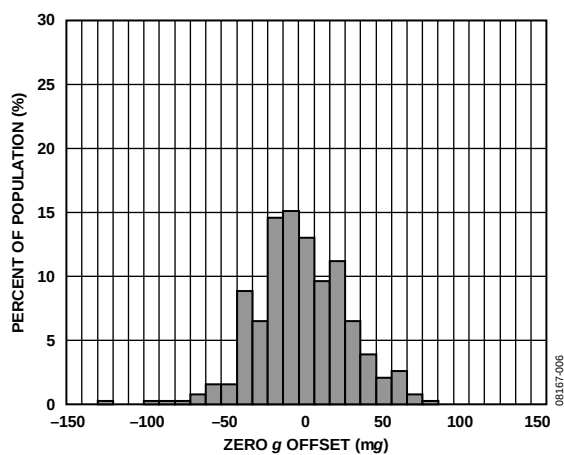
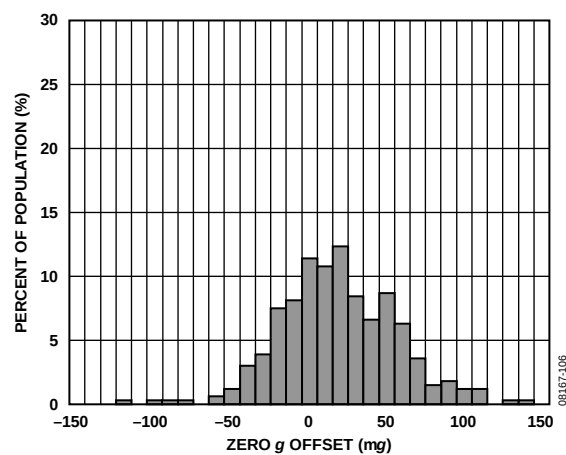


图3. 引脚配置(顶视图)

表5. 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	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(SPI 4线)、备用I ² C地址选择(I ² C)。
8	$\overline{CS}$	片选。
9	INT2	中断2输出。
10	NC	内部不连接。
11	INT1	中断1输出。
12	GND	必须接地。
13	GND	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 。
16	GND	必须接地。

典型工作特性

图4. 25°C时的X轴0 g偏移, $V_s = 2.6\text{ V}$ 图7. 25°C时的X轴0 g偏移, $V_s = 1.8\text{ V}$ 图5. 25°C时的Y轴0 g偏移, $V_s = 2.6\text{ V}$ 图8. 25°C时的Y轴0 g偏移, $V_s = 1.8\text{ V}$ 图6. 25°C时的Z轴0 g偏移, $V_s = 2.6\text{ V}$ 图9. 25°C时的Z轴0 g偏移, $V_s = 1.8\text{ V}$

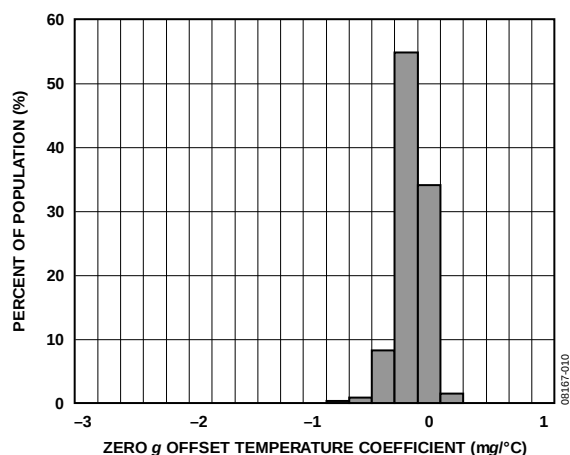


图10. X轴0 g偏移温度系数, $V_s = 2.6\text{ V}$

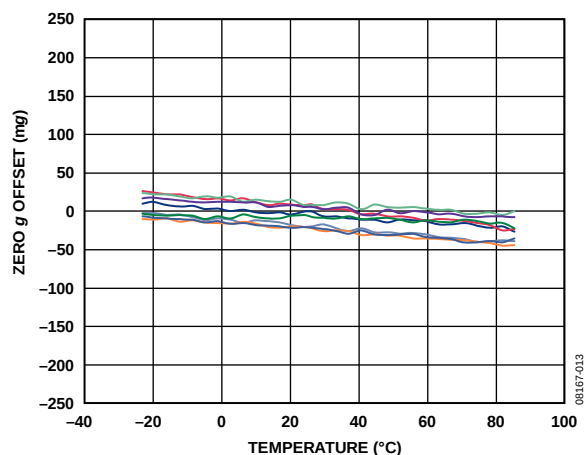


图13. X轴0 g偏移与温度的关系—8个器件焊接到PCB, $V_s = 2.6\text{ V}$

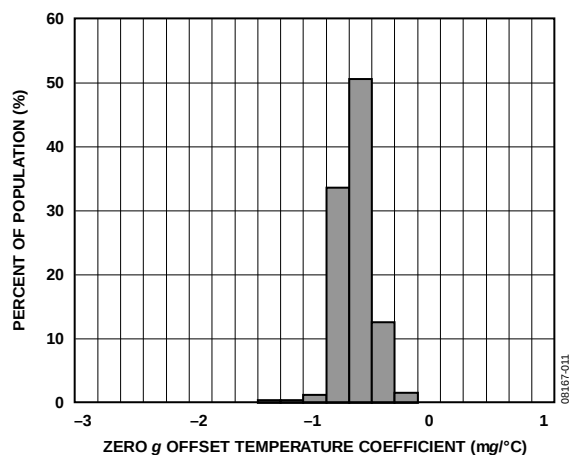


图11. Y轴0 g偏移温度系数, $V_s = 2.6\text{ V}$

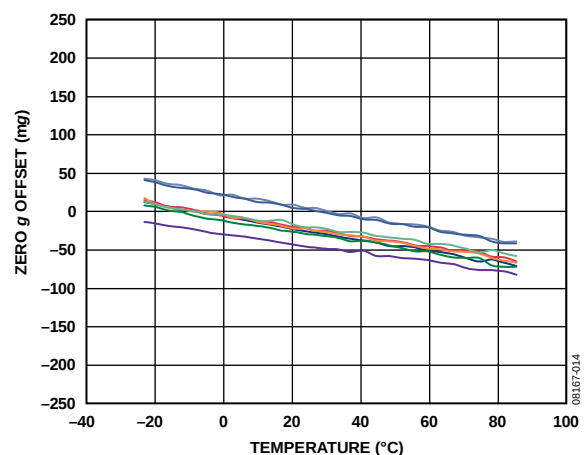


图14. Y轴0 g偏移与温度的关系—8个器件焊接到PCB, $V_s = 2.6\text{ V}$

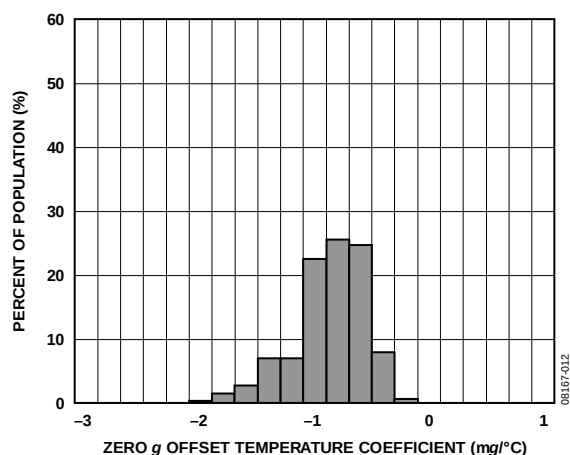


图12. Z轴0 g偏移温度系数, $V_s = 2.6\text{ V}$

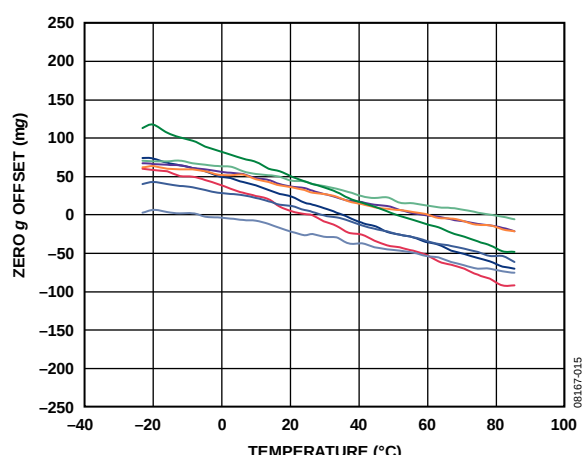
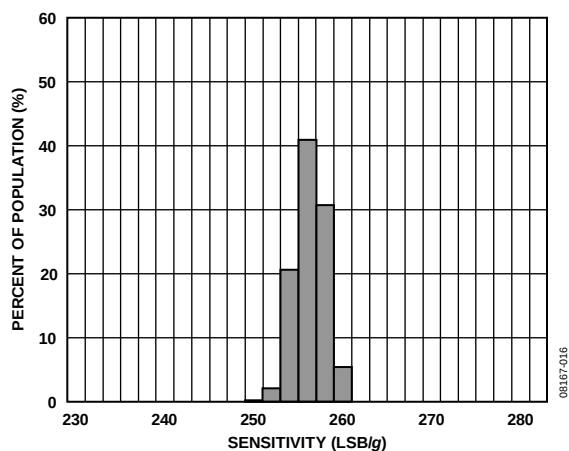
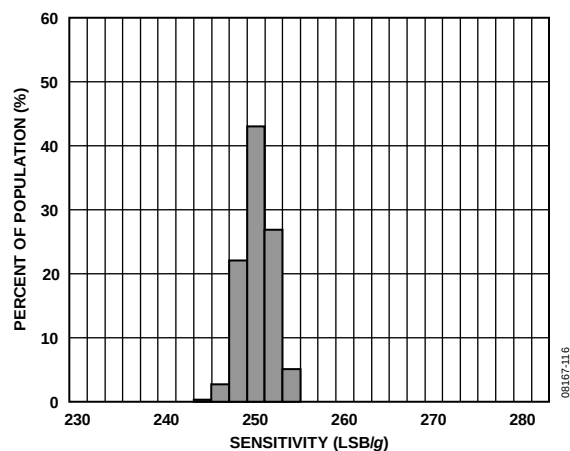
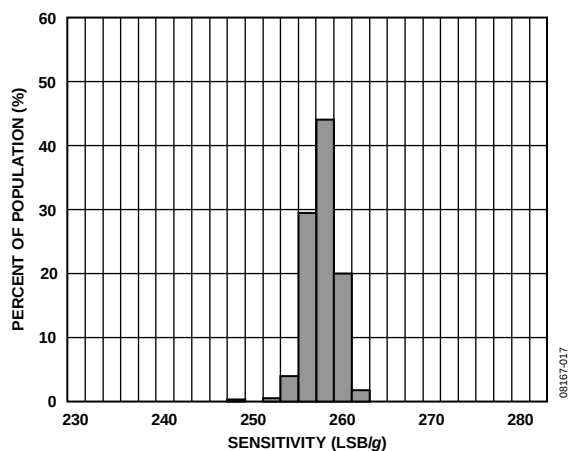
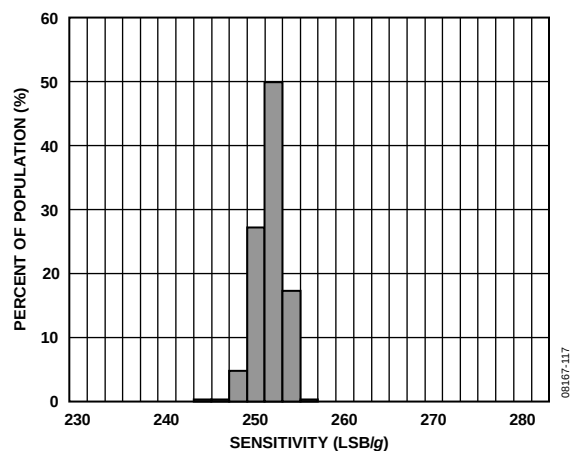
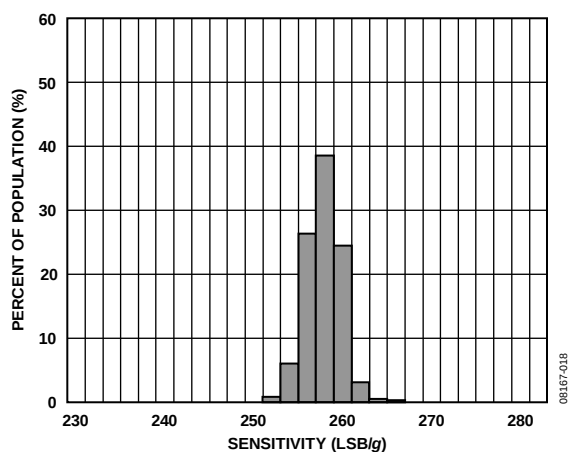
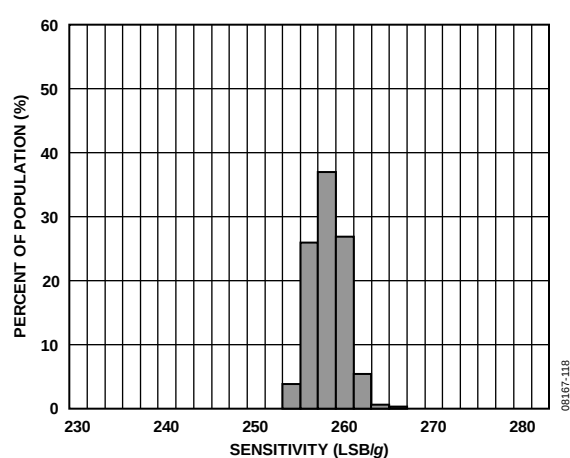


图15. Z轴0 g偏移与温度的关系—8个器件焊接到PCB, $V_s = 2.6\text{ V}$

图16. X轴灵敏度(25°C, $V_s = 2.6$ V, 全分辨率)图19. X轴灵敏度(25°C, $V_s = 1.8$ V, 全分辨率)图17. Y轴灵敏度(25°C, $V_s = 2.6$ V, 全分辨率)图20. Y轴灵敏度(25°C, $V_s = 1.8$ V, 全分辨率)图18. Z轴灵敏度(25°C, $V_s = 2.6$ V, 全分辨率)图21. Z轴灵敏度(25°C, $V_s = 1.8$ V, 全分辨率)

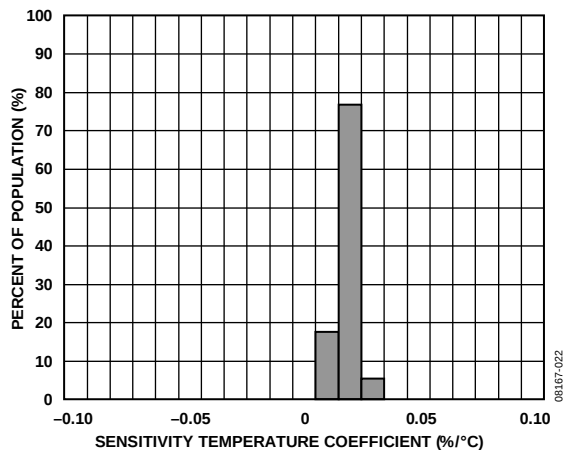


图22. X轴灵敏度温度系数, $V_s = 2.6\text{ V}$

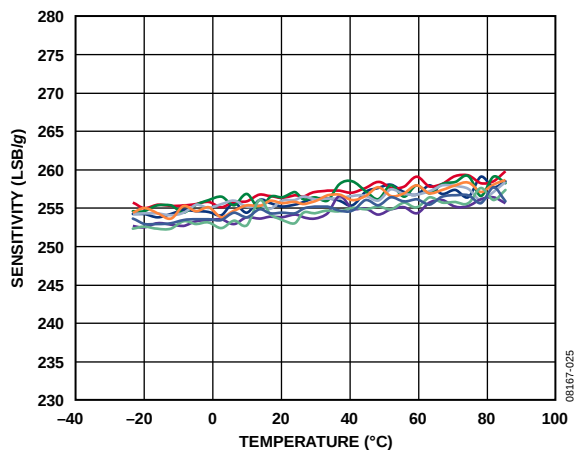


图25. X轴灵敏度与温度的关系—8个器件焊接到PCB, $V_s = 2.6\text{ V}$, 全分辨率

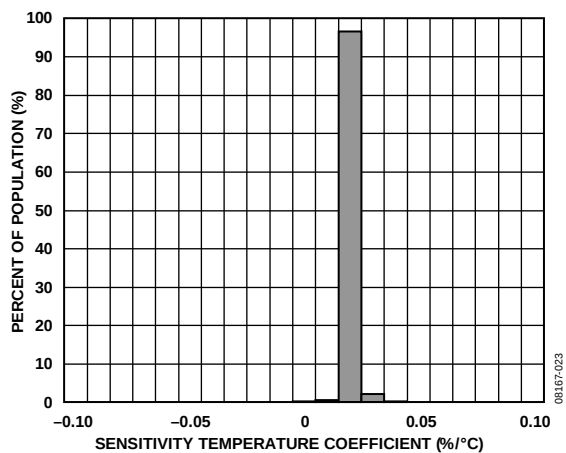


图23. Y轴灵敏度温度系数, $V_s = 2.6\text{ V}$

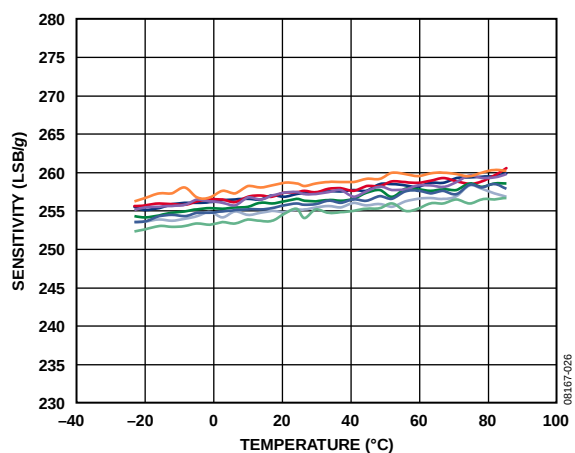


图26. Y轴灵敏度与温度的关系—8个器件焊接到PCB, $V_s = 2.6\text{ V}$, 全分辨率

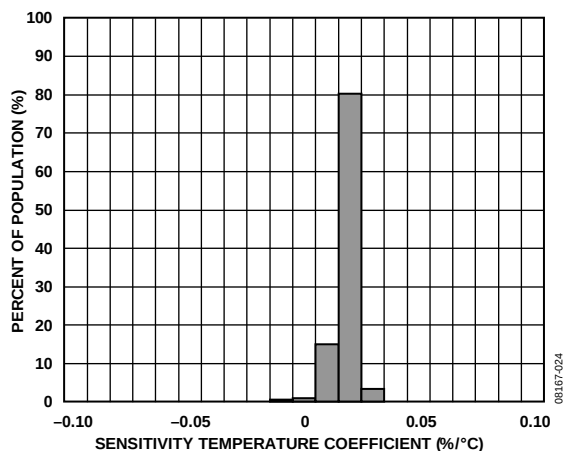


图24. Z轴灵敏度温度系数, $V_s = 2.6\text{ V}$

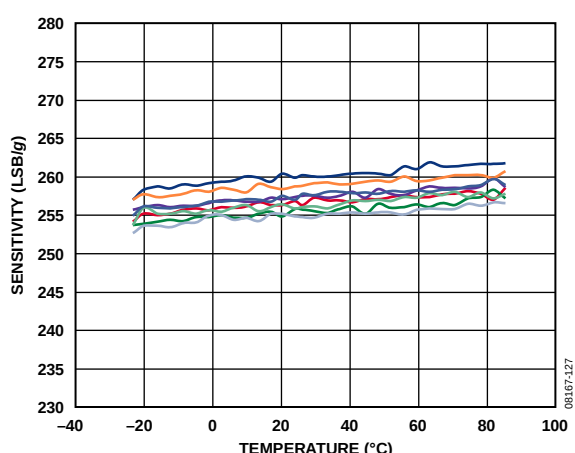


图27. Z轴灵敏度与温度的关系—8个器件焊接到PCB, $V_s = 2.6\text{ V}$, 全分辨率

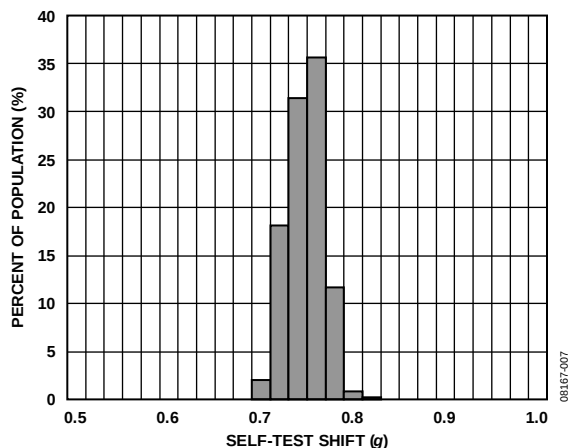


图28. 25°C时的X轴自测响应, $V_s = 2.6\text{ V}$

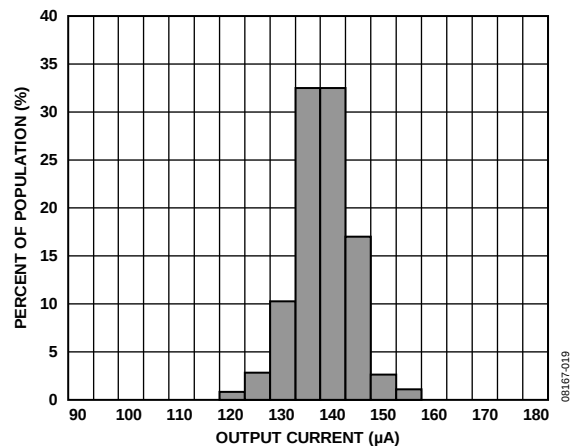


图31. 25°C时的电源电流, 100 Hz输出数据速率, $V_s = 2.6\text{ V}$

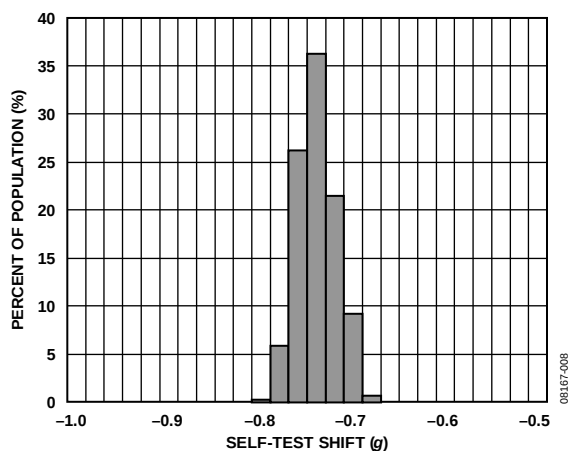


图29. 25°C时的Y轴自测响应, $V_s = 2.6\text{ V}$

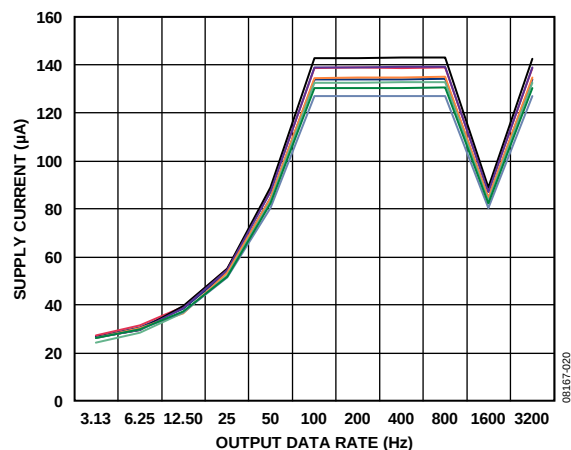


图32. 25°C时电源电流与输出数据速率的关系—10部件, $V_s = 2.6\text{ V}$

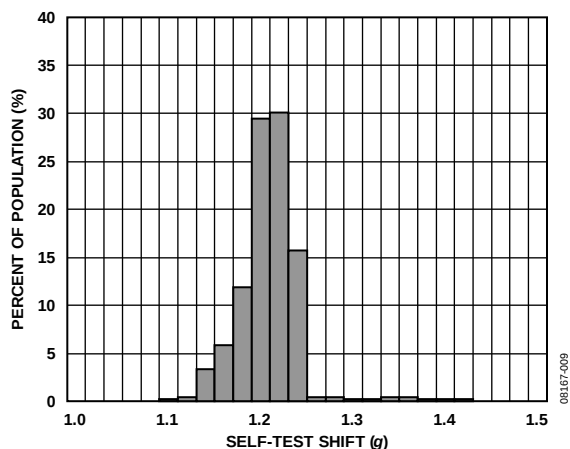


图30. 25°C时的Z轴自测响应, $V_s = 2.6\text{ V}$

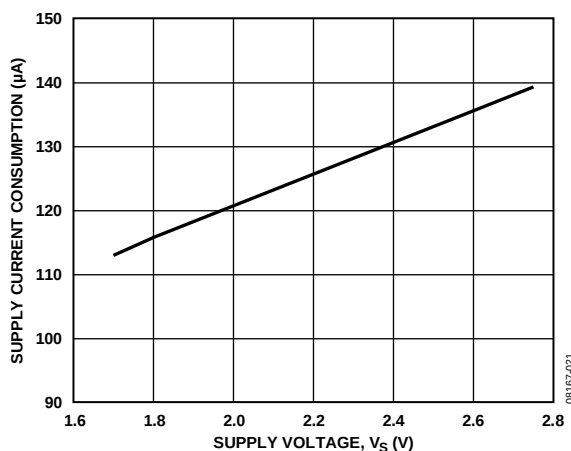


图33. 电源电流与电源电压的关系(25°C)

工作原理

ADXL346是一款完整的3轴加速度测量系统，可选的测量范围有±2 g、±4 g、±8 g或±16 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，提供加速度所引起力量的阻力。

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。加速度使检验质量块偏转、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

电源能以不损坏ADXL346的任何时序施加到V_S或V_{DD I/O}。表6总结了所有可能的上电模式。该接口电压电平设置了接口电源电压V_{DD I/O}，其存在确保了ADXL346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大于或等于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(D3)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

ADXL346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，而噪声略微变大。要进入低功耗模式，在BW_RATE寄存器(地址0x2C)中设置LOW_POWER位(位D4)。表8为低功耗模式下的功耗，低功耗模式的优势从中可见。相对于正常功耗模式的数据速率，低功耗模式的数据速率并无任何优势，表8未列出。因此，低功耗模式下推荐仅使用表8所列的数据速率。表7和表8列出了 V_S 为2.6 V时的功耗值。

表7. 典型功耗与数据速率

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = 2.6\text{ V}$, $V_{DD I/O} = 1.8\text{ V}$)

输出数据速率 (Hz)	带宽(Hz)	速率代码	I_{DD} (μA)
3200	1600	1111	140
1600	800	1110	90
800	400	1101	140
400	200	1100	140
200	100	1011	140
100	50	1010	140
50	25	1001	90
25	12.5	1000	55
12.5	6.25	0111	40
6.25	3.13	0110	31
3.13	1.56	0101	27
1.56	0.78	0100	23
0.78	0.39	0011	23
0.39	0.20	0010	23
0.20	0.10	0001	23
0.10	0.05	0000	23

表8. 典型功耗与数据速率

(低功耗模式, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = 2.6\text{ V}$, $V_{DD I/O} = 1.8\text{ V}$)

输出数据速率 (Hz)	带宽(Hz)	速率代码	I_{DD} (μA)
400	200	1100	90
200	100	1011	55
100	50	1010	40
50	25	1001	31
25	12.5	1000	27
12.5	6.25	0111	23

自动休眠模式

通过让ADXL346在静止期间自动切换到休眠模式，可以进一步节省功耗。要使能此功能，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(D4)和链接位(D5)置1。 V_S 为2.6 V时，该模式下低于8 Hz数据速率的功耗通常为23 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0.2 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(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

可采用I²C和SPI数字通信。上述两种情况下，ADXL346均作为从机运行。 $\overline{CS}$ 引脚上拉至 $V_{DD\ I/O}$ ，I²C模式使能。 $\overline{CS}$ 引脚应始终上拉至 $V_{DD\ I/O}$ 或由外部控制器驱动，因为 $\overline{CS}$ 引脚无连接时，默认模式不存在。因此，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， $\overline{CS}$ 引脚由总线主机控制。SPI和I²C两种操作模式下，ADXL346写入期间，应忽略从ADXL346传输到主机的数据。

SPI

对于SPI，可使用3线式或4线式配置，如图34和图35的连接图所示。DATA_FORMAT寄存器(地址0x31)的SPI位(D6)清0时选择4线模式，SPI位设为1时则选择3线模式。最大负载为100 pF时，最大SPI时钟速度为5 MHz，时序方案按照时钟极性(CPOL) = 1、时钟相位(CPHA) = 1执行。如果配置主处理器的时钟极性和相位之前，将电源施加到ADXL346， $\overline{CS}$ 引脚应在时钟极性和相位改变之前连接至高电平。使用3线式SPI时，推荐将SDO引脚上拉至 $V_{DD\ I/O}$ 或通过10 k Ω 电阻下拉至GND。

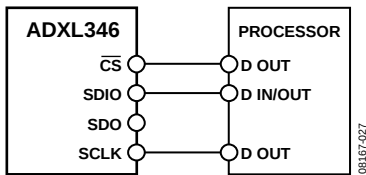


图34. 3线式SPI连接图

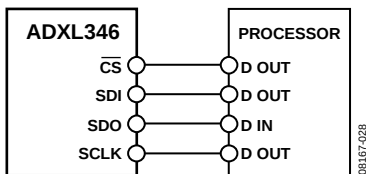


图35. 4线式SPI连接图

$\overline{CS}$ 为串行端口使能线，由SPI主机控制。如图37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，SCLK为空闲高电平状态。SDI和SDO分别为串行数据输入和输出。SCLK下降沿时数据更新，SCLK上升沿时进行采样。

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37至图39)R/ $\overline{W}$ 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ADXL346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， $\overline{CS}$ 复位。要执行不同不连续寄存器的读取或写入，传输之间 $\overline{CS}$ 必须复位，新寄存器另行寻址。

图39显示了3线式SPI读取或写入的时序图。图37和图38分别显示了4线式SPI读取和写入的时序图。要使该器件正确操作，任何时候都必须满足表9和表10中的逻辑阈值和时序参数。

SPI通信速率大于或等于2 MHz时，推荐采用3200 Hz和1600 Hz的输出数据速率。只有通信速度大于或等于400 kHz时，推荐使用800 Hz的输出数据速率，剩余的数据传输速率按比例增减。例如，200 Hz输出数据速率时，推荐的最低通信速度为100 kHz。以高于推荐最大值的输出数据速率运行，可能会对加速度数据产生不良影响，包括采样丢失或额外噪声。

防止总线流量错误

ADXL346 $\overline{CS}$ 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 $\overline{CS}$ 时，其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，ADXL346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通信。除非能够充分控制总线通信，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36所示。当 $\overline{CS}$ 为高电平时，此OR门使SDA线保持高电平，以防止ADXL346处的SPI总线时序表现为I²C起始命令。

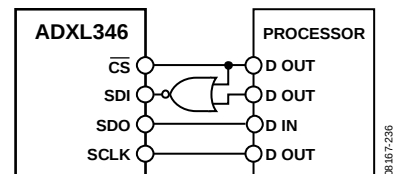


图36. 单根总线连接多个SPI器件时的推荐SPI连接图

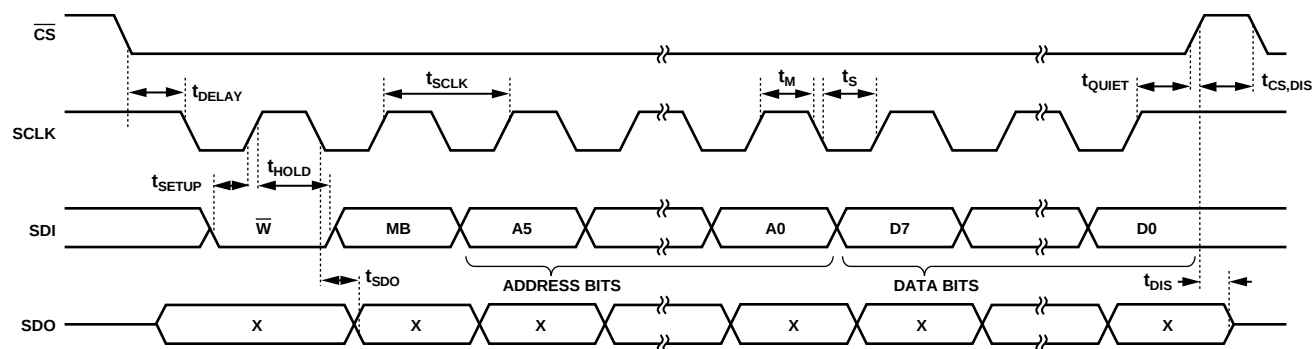


图37. 4线SPI写入

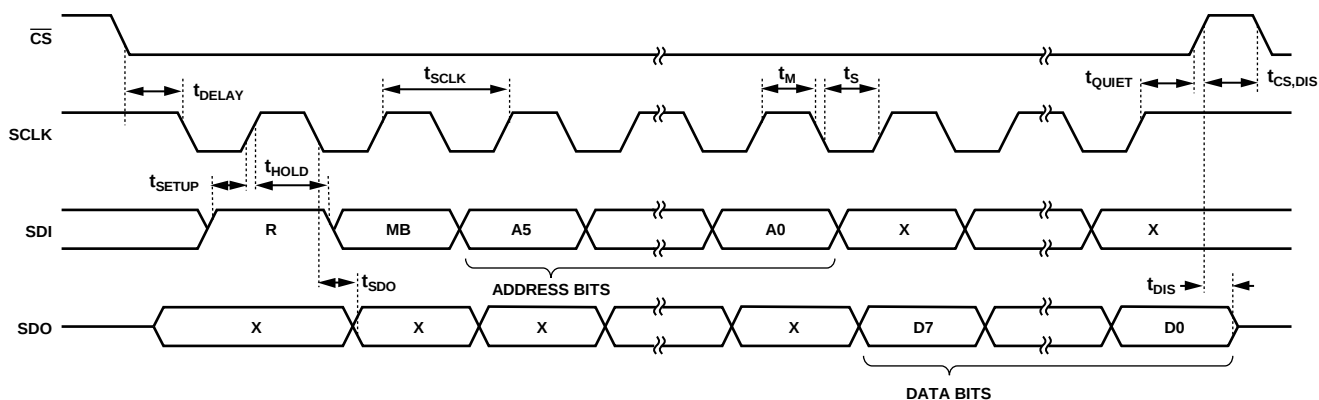
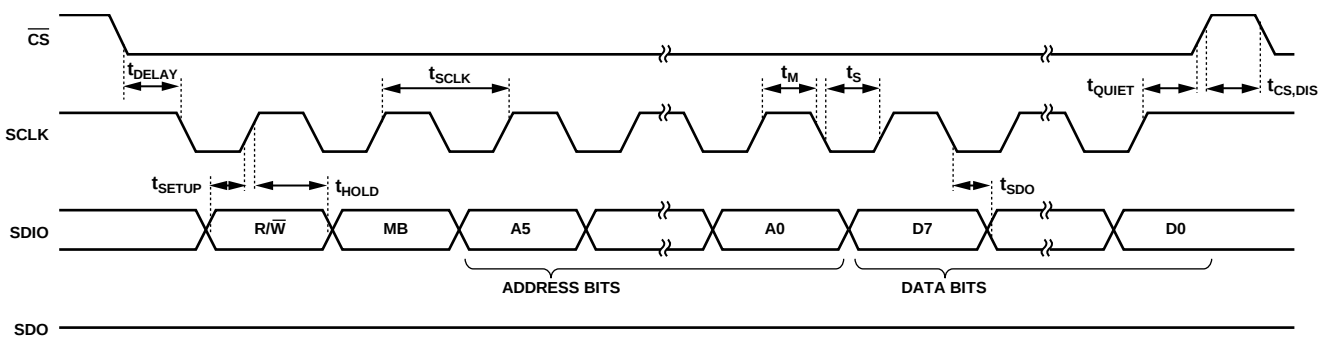


图38. 4线SPI读取



NOTES

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

图39. 3线SPI读取/写入

ADXL346

表9. SPI数字输入/输出

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})	$V_{IN} = V_{DD\ I/O}$ $V_{IN} = 0\text{ V}$	$0.7 \times V_{DD\ I/O}$	$0.3 \times V_{DD\ I/O}$	V
高电平输入电压(V_{IH})				V
低电平输入电流(I_{IL})		−0.1	0.1	μA
高电平输入电流(I_{IH})				μA
数字输出				
低电平输出电压(V_{OL})	$I_{OL} = 10\text{ mA}$ $I_{OH} = -4\text{ mA}$ $V_{OL} = V_{OL, \text{max}}$ $V_{OH} = V_{OH, \text{min}}$	$0.8 \times V_{DD\ I/O}$	$0.2 \times V_{DD\ I/O}$	V
高电平输出电压(V_{OH})				V
低电平输出电流(I_{OL})		10	−4	mA
高电平输出电流(I_{OH})				mA
引脚电容	$f_{IN} = 1\text{ MHz}, V_{IN} = 2.6\text{ V}$		8	pF

¹ 限值基于特性数据，未经生产测试。

表10. SPI时序($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = 2.6\text{ V}$, $V_{DD\ I/O} = 1.8\text{ V}$)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}	5		ns	$\overline{CS}$ 下降沿到SCLK下降沿
t_{QUIET}	5		ns	SCLK上升沿到 $\overline{CS}$ 上升沿
t_{DIS}		10	ns	$\overline{CS}$ 上升沿至SDO禁用
$t_{\overline{CS}DIS}$	150		ns	SPI通信间 $\overline{CS}$ 解除置位
t_S	$0.3 \times t_{SCLK}$		ns	SCLK低电平脉冲宽度(空号)
t_M	$0.3 \times t_{SCLK}$		ns	SCLK高电平脉冲宽度(传号)
t_{SETUP}	5		ns	SCLK上升沿之前SDI有效
t_{HOLD}	5		ns	SCLK上升沿之后SDI有效
t_{SDO}		40	ns	SCLK下降沿至SDO/SDIO输出转换
t_R^4		20	ns	SDO/SDIO输出低电平至输出高电平转换
t_F^4		20	ns	SDO/SDIO输出高电平至输出低电平转换

¹ $\overline{CS}$ 、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，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})。

⁴ 输出上升时间和下降时间利用150 pF的容性负载测量。

I²C

如图40所示， $\overline{\text{CS}}$ 引脚拉高至 $V_{\text{DD I/O}}$ ，ADXL346处于I²C模式，需要简单双线式连接。ADXL346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11和表12列出的总线参数，便能支持标准(100 kHz)和快速(400 kHz)数据传输模式。如图41所示，支持单个或多个字节的读取/写入。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 $\text{R}/\overline{\text{W}}$ 位。这转化为0x3A写入，0x3B读取。通过ALT ADDRESS引脚接地，可以选择备用I²C地址0x53(随后为 $\text{R}/\overline{\text{W}}$ 位)。这转化为0xA6写入，0xA7读取。

没有为任何不用的引脚提供内部上拉或下拉电阻，因此， $\overline{\text{CS}}$ 或ALT ADDRESS引脚如果悬空或不连接，并不存在已知状态或默认状态。使用I²C时，要求 $\overline{\text{CS}}$ 引脚连接到 $V_{\text{DD I/O}}$ ，ALT ADDRESS引脚连接到 $V_{\text{DD I/O}}$ 或GND。

由于通信速度限制，使用400 kHz I²C时，最大输出数据速率为800 Hz，它与I²C通信速度成线性比例关系。例如，使用100 kHz I²C时，最大ODR为200 Hz。以高于推荐最大值的输出数据速率运行，可能会对加速度数据产生不良影响，包括采样丢失或额外噪声。

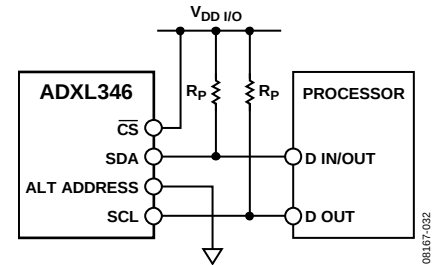


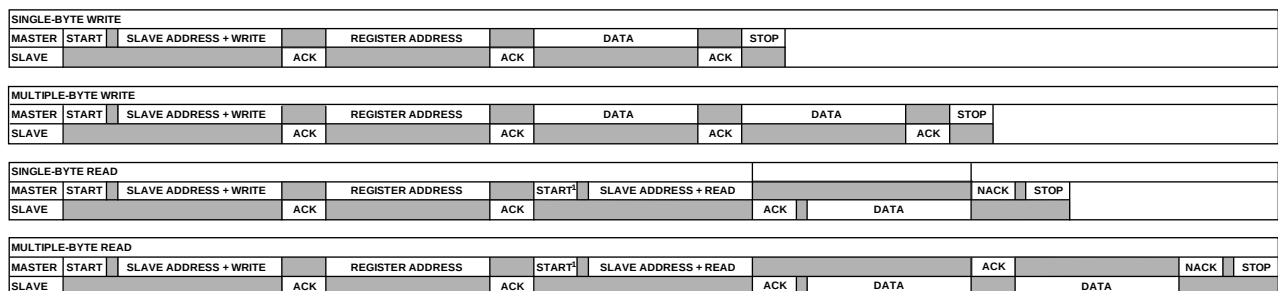
图40. I²C连接图(地址0x53)

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

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})	$V_{\text{IN}} = V_{\text{DD I/O}}$	$0.7 \times V_{\text{DD I/O}}$	$0.3 \times V_{\text{DD I/O}}$	V
高电平输入电压(V_{IH})	$V_{\text{IN}} = 0 \text{ V}$	-0.1	0.1	V
低电平输入电流(I_{IL})				μA
高电平输入电流(I_{IH})				μA
数字输出				
低电平输出电压(V_{OL})	$V_{\text{DD I/O}} < 2 \text{ V}, I_{\text{OL}} = 3 \text{ mA}$ $V_{\text{DD I/O}} \geq 2 \text{ V}, I_{\text{OL}} = 3 \text{ mA}$		$0.2 \times V_{\text{DD I/O}}$	V
低电平输出电流(I_{OL})	$V_{\text{OL}} = V_{\text{OL, max}}$	3	400	mV
引脚电容	$f_{\text{IN}} = 1 \text{ MHz}, V_{\text{IN}} = 2.6 \text{ V}$		8	μA

¹ 限值基于特性数据，未经生产测试。



¹ THIS START IS EITHER A RESTART OR A STOP FOLLOWED BY A START.

NOTES

1. THE SHADED AREAS REPRESENT WHEN THE DEVICE IS LISTENING.

图41. I²C器件寻址

ADXL346

表12. I²C时序(T_A = 25°C, V_S = 2.6 V, V_{DD I/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	100		ns	t _{SU, DAT} , 数据建立时间
t ₆ ^{3, 4, 5, 6}	0	0.9	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
	0		ns	t _R , 接收或传送时SCL和SDA的上升时间
t ₁₁		300	ns	t _F , 接收时SDA的下降时间
		250	ns	t _F , 传送时SCL和SDA的下降时间
C ₈		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。适用于传输和应答数据。
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)}。

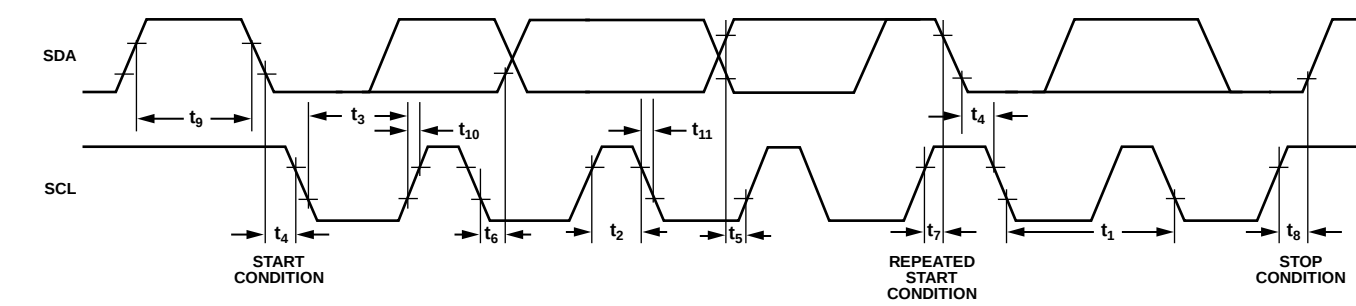


图42. I²C时序图

08167-034

中断

ADXL346为驱动中断提供两个输出引脚：INT1和INT2。这两个中断引脚都是推挽低阻抗引脚，其输出规格如表13所示。中断引脚默认配置为高电平有效。设置DATA_FORMAT寄存器(地址0x31)中的INT_INVERT位(位D5)，可以更改为低电平有效。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。最初配置中断引脚时，建议中断使能前完成功能和中断映射。改变中断配置时，建议先通过清零INT_ENABLE寄存器的功能对应位，禁用中断，然后再使能中断，重新进行功能配置。中断禁用时，功能配置助于防止中断意外发生。

数据相关中断条件失效前，读取DATA_X、DATA_Y、DATA_Z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，锁存和清除中断功能。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位

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位

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位

当发生两次加速度事件，其值超过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。第二次敲击在延迟寄存器(地址0x22)规定的时间后开始，但须在窗口寄存器(地址0x23)规定的时间以内。详情见“敲击检测”部分。

Activity位

当任意参与轴(由ACT_INACT_CTL寄存器(地址0x27)设置)的加速度值超过THRESH_ACT寄存器(地址0x24)中存储的值时，Activity位置位。

Inactivity位

当任意参与轴(由ACT_INACT_CTL寄存器(地址0x27)设置)的加速度值小于THRESH_INACT寄存器(地址0x25)中存储的值，并且持续时间超过TIME_INACT寄存器(地址0x26)规定的时间时，Inactivity位置位。TIME_INACT最大值为255秒。

FREE_FALL位

当所有轴(逻辑“与”)的加速度值小于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：所有轴始终参与且进行逻辑“与”运算，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位

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。

表13. 中断引脚数字输出

参数	测试条件	限值 ¹		单位
		最小值	最大值	
数字输出				
低电平输出电压(V _{OL})	I _{OL} = 300 μA		0.2 × V _{DD I/O}	V
高电平输出电压(V _{OH})	I _{OH} = -150 μA	0.8 × V _{DD I/O}		V
低电平输出电流(I _{OL})	V _{OL} = V _{OL, max}	300		μA
高电平输出电流(I _{OH})	V _{OH} = V _{OH, min}		-150	μA
引脚电容	f _{IN} = 1 MHz, V _{IN} = 2.6 V		8	pF
上升/下降时间				
上升时间(t _R) ²	C _{LOAD} = 150 pF		210	ns
下降时间(t _F) ³	C _{LOAD} = 150 pF		150	ns

¹ 限值基于特性数据，未经生产测试。

² 测量上升时间为中断引脚从V_{OL, max}至V_{OH, min}的转换时间。

³ 测量下降时间为中断引脚从V_{OH, min}至V_{OL, max}的转换时间。

Overrun位

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。

Orientation位

当加速度计的方向从一个有效方向变为另一个有效方向时，Orientation位置1。然而，如果加速计的方向从一个有效方向变为一个无效方向，或者从一个有效方向变为一个无效方向，然后再变回原有效方向，则不会产生中断。无效方向是指死区或迟滞区内的方向。当加速计方位接近两个有效方向之间的边界时，此区有助于防止方向迅速变化。

可产生中断的有效方向取决于哪一种模式(2D或3D)链接到方向中断。该模式通过ORIENT_CONF寄存器(地址0x3B)的INT_3D位(位D3)选择。有关如何使能方向中断的更多信息，请参阅寄存器0x3B—ORIENT_CONF(读/写)部分。

FIFO

ADXL346包含嵌入式存储器管理系统(专利申请中)，采用32位FIFO，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22)。通过设置FIFO_CTL寄存器(地址0x38)的FIFO_MODE位(位[D7:D6])，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轴的测量数据存储在FIFO中。当FIFO中的采样点数与FIFO_CTL寄存器(地址0x38)采样点位规定的数量相等时，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寄存器的采样点位存储值。

流模式

在流模式下，x、y、z轴的测量数据存储在FIFO中。当FIFO中的采样点数与FIFO_CTL寄存器(地址0x38)采样点位规定的数量相等时，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寄存器的采样点位存储值。

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，才能识别新的触发事件。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，会清空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，所有目标轴应以成组方式(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的数据转变或 $\overline{\text{CS}}$ 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 $\overline{\text{CS}}$ 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

ADXL346具备自测功能，可同时有效测试机械系统和电子系统。通过SELF_TEST位(DATA_FORMAT寄存器(地址0x31)的位D7)使能自测功能时，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_s^2 成比例，因此输出随 V_s 而变化。这种效应如图43所示。

表14所示的比例因子可用来为不同的电源电压 V_s 调整预期的自测输出限值。ADXL346的自测特性还具有双峰性。然而，由于双峰性，表1和表15至表18所示的限值对潜在的自检值都有效。在低于100 Hz或在1600 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，器件必须处于正常工作模式(BW_RATE寄存器的(地址0x2C) LOW_POWER位 = 0)，并置于100 Hz至800 Hz或3200 Hz的数据速率，以便自测功能正常运行。

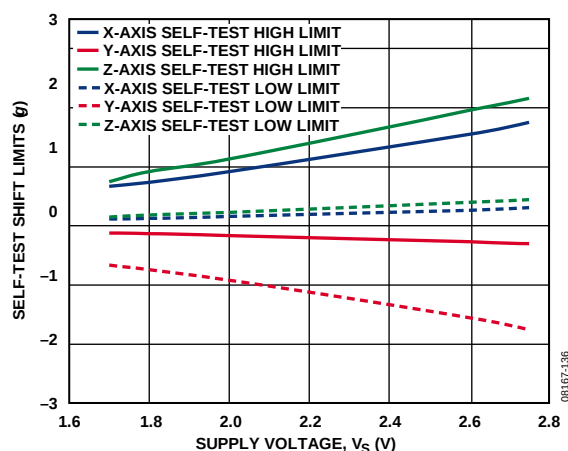


图43. 自测输出变化限值与供电电压的关系

表14. 自测输出与不同电源电压 V_s 的比例因子

电源电压(V_s)	X轴和Y轴	Z轴
1.70 V	0.43	0.38
1.80 V	0.48	0.47
2.00 V	0.59	0.58
2.60 V	1.00	1.00
2.75 V	1.13	1.11

表15. ± 2 g的自测输出(LSB)，10位或全分辨率
($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_s = 2.6$ V, $V_{DD I/O} = 1.8$ V)

轴	最小值	最大值	单位
X	70	400	LSB
Y	-400	-70	LSB
Z	100	500	LSB

表16. ± 4 g的自测输出(LSB)，10位分辨率
($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_s = 2.6$ V, $V_{DD I/O} = 1.8$ V)

轴	最小值	最大值	单位
X	35	200	LSB
Y	-200	-35	LSB
Z	50	250	LSB

表17. ± 8 g的自测输出(LSB)，10位分辨率
($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_s = 2.6$ V, $V_{DD I/O} = 1.8$ V)

轴	最小值	最大值	单位
X	17	100	LSB
Y	-100	-17	LSB
Z	25	125	LSB

表18. ± 16 g的自测输出(LSB)，10位分辨率
($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_s = 2.6$ V, $V_{DD I/O} = 1.8$ V)

轴	最小值	最大值	单位
X	8	50	LSB
Y	-50	-8	LSB
Z	12	63	LSB

寄存器映射

表19. 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	11100110	器件ID。
0x01至0x1C	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	DATAX0	R	00000000	X轴数据0。
0x33	51	DATAX1	R	00000000	X轴数据1。
0x34	52	DATAY0	R	00000000	Y轴数据0。
0x35	53	DATAY1	R	00000000	Y轴数据1。
0x36	54	DATAZ0	R	00000000	Z轴数据0。
0x37	55	DATAZ1	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。
0x3A	58	TAP_SIGN	R	00000000	单击/双击的符号和来源。
0x3B	59	ORIENT_CONF	R/ $\overline{W}$	00100101	方向配置。
0x3C	60	Orient	R	00000000	方向状态。

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	1	0

DEVID寄存器保存固定器件ID代码0xE6(346八进制)。

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，以便实现正常敲击检测。有关改进敲击检测的信息，请参阅“改进的敲击检测”部分。比例因子为62.5 mg/LSB(即0xFF = +16 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15.6 mg/LSB(即0x7F = 2 g)。偏移寄存器的存储值自动添加到加速度数据中，结果存储在输出数据寄存器中。更多有关偏移校准和偏移寄存器使用的信息，请参考“偏移校准”部分。

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。有关改进敲击检测的信息，请参阅“改进的敲击检测”部分。比例因子为625 μs/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。有关改进敲击检测的信息，请参阅“改进的敲击检测”部分。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。有关改进敲击检测的信息，请参阅“改进的敲击检测”部分。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62.5 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62.5 mg/LSB。如果使能静止中断，值为0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。

ADXL346

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。活动检测时，所有参与轴为逻辑“或”，当任意参与轴超过阈值时，活动功能触发。非运动检测时，所有参与轴为逻辑“与”，只有在特定时限内所有参与轴低于阈值时，非运动功能才会触发。

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。所有轴的加速度与THRESH_FF的值比较，以确定是否发生自由落体事件。比例因子为62.5 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(0x05至0x09)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	Improved tap	Suppress	TAP_X enable	TAP_Y enable	TAP_Z enable

Improved Tap位

Improved Tap位用于使能改进的敲击检测。这种工作模式通过对输出加速度数据执行交流耦合差分比较，来改善敲击检测。改进的敲击检测是对DATA_X、DATA_Y、DATA_Z寄存器提供的同样输出数据执行。由于与输出数据速率和交流耦合差分测量相关，单击和双击的阈值和时序值必须针对改进的敲击检测功能进行调整。有关改进敲击检测的进一步说明，请参阅“改进的敲击检测”部分。Improved Tap位设为值1时，使能改进的敲击检测；设为值0时则禁用。

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。被置为1时，表示参与事件；被置为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。只有器件配置为自动休眠时，此位才会切换。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，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弃。

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，建议先将器件置于待机模式，然后再配置为测量模式。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位清零后的几个数据采样点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

设置Link位，AUTO_SLEEP位设置为1，自动休眠功能使能。该模式下，如果使能静止功能，检测出静止，ADXL346会自动切换到休眠模式(即至少在TIME_INACT规定的时间内，加速度值低于THRESH_INACT值)。如果活动功能也使能，ADXL346从活动检测后自动唤醒，以BW_RATE寄存器设置的输出数据速率重新运行。AUTO_SLEEP设置为0时，禁止自动切换至休眠模式。有关休眠模式的更多信息，请参见本节的Sleep位描述。

如果未设置Link位，AUTO_SLEEP特性禁用，设置AUTO_SLEEP位不会影响器件运行。有关使用链接特性的更多详情，参见“Link位”或“链接模式”部分。

AUTO_SLEEP清零后，建议先将器件置于待机模式，然后再配置为测量模式。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位清零后的几个数据采样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。ADXL346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。当DATA_READY中断被抑制时，输出数据寄存器仍然以Wakeup位设置的采样速率更新。

休眠位清零后，建议先将器件置于待机模式，然后再配置为测量模式。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，休眠位清零后的几个数据采样点会有额外的噪声，特别是该位清零后器件为休眠状态时。

Wakeup位

如表20所述，这些位控制休眠模式下的读取频率。

表20. 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	D6	D5	D4
DATA_READY	SINGLE_TAP	DOUBLE_TAP	Activity
D3	D2	D1	D0
Inactivity	FREE_FALL	Watermark	Overrun/orientation

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/Orientation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	D6	D5	D4
DATA_READY	SINGLE_TAP	DOUBLE_TAP	Activity
D3	D2	D1	D0
Inactivity	FREE_FALL	Watermark	Overrun/orientation

该寄存器的位设置为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	D6	D5	D4
DATA_READY	SINGLE_TAP	DOUBLE_TAP	Activity
D3	D2	D1	D0
Inactivity	FREE_FALL	Watermark	Overrun/orientation

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/Orientation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(包括Orientation，如已使能)清零。

ADXL346

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±16 g范围以外的所有数据必须剪除，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4 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21所述。

表21. g范围设置

设置		g范围
D1	D0	
0	0	±2 g
0	1	±4 g
1	0	±8 g
1	1	±16 g

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22所述。

表22. 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组加速度值，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组加速度值。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FIFO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23)。Samples位设置值为0时，不管选择哪种FIFO模式，INT_SOURCE寄存器(地址0x30)中的Watermark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23. 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存储点数。
流	指定触发水印中断需要的FIFO存储点数。
触发	指定触发事件之前在FIFO缓冲区要保留的FIFO采样点数。

寄存器0x39—FIFO_STATUS(读/写)

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存储了多少组加速度数据。通过DATA_X、DATA_Y和DATA_Z寄存器，可从FIFO收集数据。FIFO应采取成组读取模式或多字节读取模式，因为不论通过单字节还是多字节读取，FIFO中存储的一组加速度数据都会清零。FIFO可最多存储32组加速度数据，相当于任何时间内最多有33组加速度数据，因为器件的输出滤波器有一组附加数据。

寄存器0x3A—TAP_SIGN(只读)

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	XSIGN	YSIGN	ZSIGN	0	XTAP	YTAP	ZTAP

xSIGN位

这些位表示涉及敲击事件的第一个轴的符号。被置为1时，表示负方向加速；被置为0时，表示正方向加速。仅当检测到新的单击/双击事件，并且TAP_AXES寄存器(地址0x2A)使能的轴更新时，这些位才会更新。中断清零前，应读取TAP_SIGN寄存器。详情见“敲击符号”部分。

xTAP位

这些位表示涉及敲击事件的第一个轴。被置为1时，表示参与事件；被置为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TAP_SIGN寄存器。当下一单击/双击事件发生时，禁用某个轴参与将把相应来源位清零。

寄存器0x3B—ORIENT_CONF(读/写)

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
INT_ORIENT	Dead zone			INT_3D	Divisor		

INT_ORIENT位

INT_ORIENT位置1可使能方向中断。值1会覆盖器件的溢出功能，将INT_MAP(地址0x2F)、INT_ENABLE(地址0x2E)和INT_SOURCE(地址0x30)寄存器中的溢出功能替换为方向功能。INT_ORIENT位置1后，必须配置INT_MAP和INT_ENABLE寄存器的方向位，以将方向中断映射到INT1或INT2，并使能该引脚的中断产生。

只要方向寄存器(地址0x3C)中的INT_3D位所选模式的方向状态发生改变，就会产生方向中断。读取INT_SOURCE寄存器时，方向中断清0。INT_ORIENT位清0或INT_ENABLE寄存器(地址0x2E)的orientation位清0可禁用并清除中断。

写入BW_RATE寄存器(地址0x2C)或将器件置于待机模式会复位方向功能，清除方向滤波器和中断。然而，复位方向功能也会复位orient寄存器(地址0x3C)中的方向状态，导致下一输出样本可用且当前方向不在默认方向时产生一个中断。INT_ORIENT位置0会禁用方向中断的产生，并允许使用溢出功能。

Dead Zone位

这些位决定两个相邻方向之间的区域，此区域内的方向会被视为无效，因而不会更新。当方向接近两个相邻区域之间的等分线时，值为0可能导致工作异常。死区角由三个位决定，如表24所示。更多信息参见“方向检测”部分。

表24. 死区和分频码

十进制	二进制	死区角(度数)	分频带宽(Hz)
0	000	5.1	ODR/9
1	001	10.2	ODR/22
2	010	15.2	ODR/50
3	011	20.4	ODR/100
4	100	25.5	ODR/200
5	101	30.8	ODR/400
6	110	36.1	ODR/800
7	111	41.4	ODR/1600

INT_3D位

如果使能方向中断，则INT_3D位决定2D还是3D方向检测产生中断。值为0时，仅当2D方向从一个有效2D方向变为另一个有效2D方向时产生中断。值为1时，仅当3D方向从一个有效3D方向变为另一个有效3D方向时产生中断。

Divisor位

这些位设置用于对加速度测量数据进行低通滤波以实现稳定方向检测的滤波器带宽。分频带宽由这些位决定，如表24所示，其中ODR是BW_RATE寄存器(地址0x2C)设置的输出数据速率。更多信息参见“方向检测”部分。

ADXL346

寄存器0x3C—Orient(只读)

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	V2	2D_ORIENT		V3	3D_ORIENT		

Vx位

这些位显示2D (V2)和3D (V3)方向的有效性。值为1时，表示方向有效。值为0时，表示方向无效，因为当前方向在死区。

xD_ORIENT位

这些位表示加速度计的当前2D (2D_ORIENT)和3D (3D_ORIENT)方向。如果使能了方向中断，当中断发生时，读取此寄存器可确定器件的方向。此寄存器随着加速度数据的每个新样本而更新，因此应当在方向中断之时读取它，确保导致中断的方向变化已被识别。方向值参见表25和表26。更多信息参见“方向检测”部分。

写入BW_RATE寄存器(地址0x2C)或将器件置于待机模式会复位方向功能，清除方向滤波器和方向状态。如果下一输出样本期间的方向不同于默认值(2D检测是+X，3D方向未定)，这些操作将导致方向中断(如已使能)。

表25. 2D方向码

十进制	二进制	方向	主轴
0	00	纵向正向	+X
1	01	纵向负向	−X
2	10	横向正向	+Y
3	11	横向负向	−Y

表26. 3D方向码

十进制	二进制	方向	主轴
3	011	前	+X
4	100	后	−X
2	010	左	+Y
5	101	右	−Y
1	001	顶层	+Z
6	110	底层	−Z

应用信息

电源去耦

建议在 V_S 处连接一个1 μF 钽电容(C_S)并在 $V_{DD\ I/O}$ 处连接一个0.1 μF 陶瓷电容($C_{I/O}$)且这两个电容应置于ADXL346电源引脚附近,以便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100 Ω 的电阻或氧化铁磁珠,可能会起作用。此外,将 V_S 上的旁路电容增加到10 μF 钽电容与0.1 μF 陶瓷电容并联,也可以改善噪声。

应注意确保ADXL346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 $V_{DD\ I/O}$ 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。

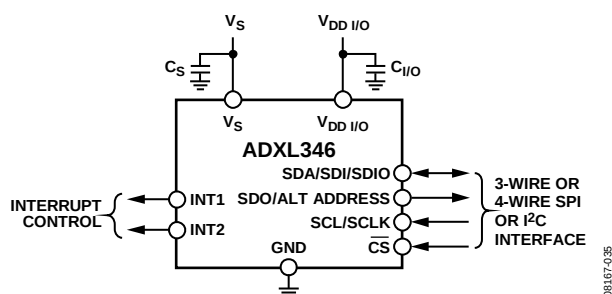


图44. 应用框图

机械安装注意事项

ADXL346应安装在PCB牢固安装点附近位置。如图45所示,如将ADXL346安装在无支撑的PCB位置,由于PCB振动未受到抑制,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。多个安装点时,接近传感器和/或较厚的PCB也有助于降低系统共振对传感器性能的影响。

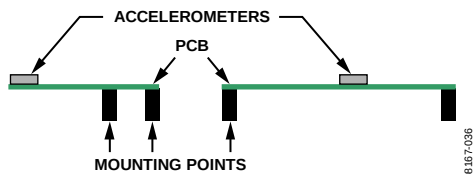


图45. 错误放置的加速度计

敲击检测

敲击中断功能能够进行单击或双击检测。如图46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,但只要在Window寄存器定义的时间结束前完成即可。

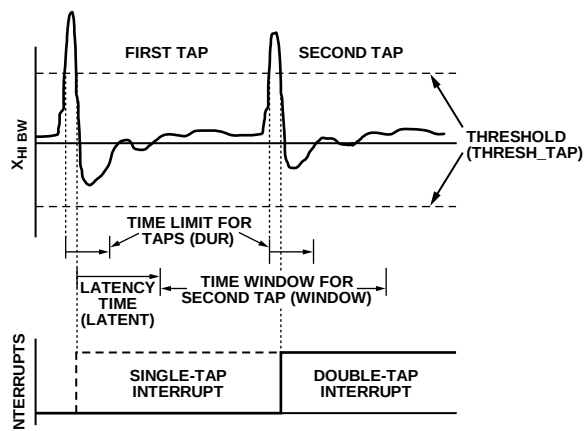


图46. 有效单击和双击的敲击中断功能

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47所示。

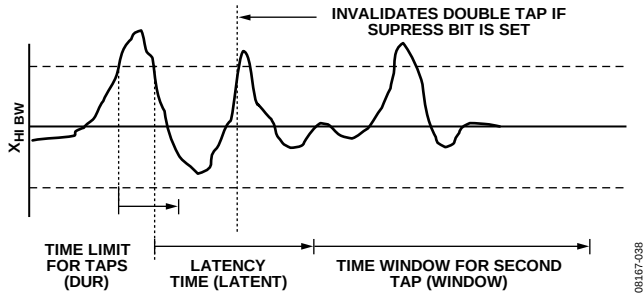


图47. Suppress位设为1时高g事件导致双击事件失效

如果第二次敲击的时间窗口(由window寄存器(地址0x23)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48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(地址0x21)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48所示。

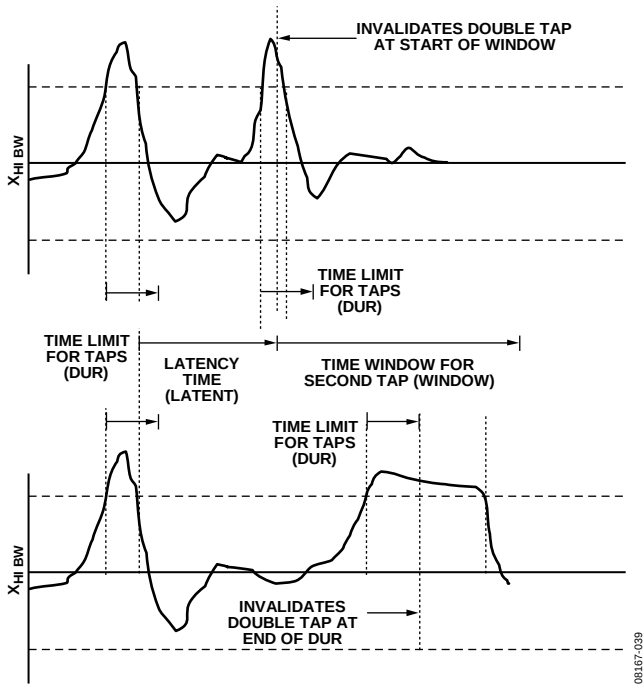


图48. 无效双击的敲击中断功能

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,DUR寄存器、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:DUR寄存器的值大于0x10 (10 ms),latent寄存器的值大于0x10 (20 ms),window寄存器的值大于0x40 (80 ms),THRESH_TAP寄存器的值大于0x30 (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。

改进的敲击检测

将TAP_AXES寄存器(地址0x2A)的Improved tap位置1,可以使能改进的敲击检测功能。使能后,对应于BW_RATE寄存器(地址0x2C)所设置的输出数据速率的滤波输出数据会被处理,以确定是否发生敲击事件。此外还要使用交流耦合差分测量。因此,改进的敲击检测功能所用的时序值和阈值不同于正常敲击检测功能所用的时序值和阈值。

使用改进的敲击检测功能时,新值必须根据测试结果确定。一般而言,设置的时序值(位于DUR、latent或window寄存器)不应小于输出数据速率所设置的时间阶跃分辨率。改进的敲击检测所用的阈值通常可以远小于正常敲击检测所用的阈值。所用的值取决于BW_RATE寄存器中的值,应当通过系统测试确定。详情参见阈值部分。

敲击符号

检测到负加速度时,产生负符号,对应于目标轴的器件正面上的敲击。器件正面是指沿该方向的运动产生正加速度的一面。例如,在对应于+X方向的表面(图49中标示为“前”)上敲击时,产生x轴的负符号。在图49标示为“左”的表面上敲击时,产生y轴的负符号;在标示为“上”的表面上敲击时,产生z轴的负符号。相反,在背面、右侧或下侧敲击将产生相应轴的正符号。

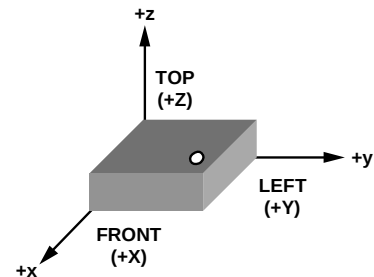


图49. 坐标系统的3D方向

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、自由落体以及未使能敲击改善的单击/双击检测功能使用非抽取数据执行。由于输出数据的带宽随数据速率而改变，且低于非抽取数据的带宽，因此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。这可能会导致在加速度数据似乎不满足用户针对相应功能设置的条件时触发功能。

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

在要求低数据速率和低功耗(牺牲噪声性能)的应用中，建议使用低功耗模式。使用低功耗模式时会保留DATA_READY中断和FIFO功能，以便对加速度数据进行后处理。休眠模式虽能提供低数据速率和低功耗，但并不适合进行连续数据采集。

不过，如果休眠模式与自动休眠模式和链接模式一起使用，则检测到静止时，器件可以自动切换到低功耗、低采样速率模式。为了防止产生多余的静止中断，将自动禁用静止中断功能，并使能活动功能。ADXL346处于休眠模式时，主机处理器也可置于休眠模式或低功耗模式，以节省大量系统功耗。检测到运动时，加速度计自动切换回应用的原始数据速率，并提供运动中断，该中断可用于唤醒主机处理器。与发生静止事件时类似，将禁用活动事件检测，并使能静止功能。

偏移校准

加速度计为机械结构，包含可以自由移动的元件。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ADXL346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(寄存器0x1E、0x1F和0x20)，自动补偿该偏移量。这样，DATA_X、DATA_Y和DATA_Z寄存器(地址0x32至地址0x37)寄存器收集的数据已经补偿偏移。

在无翻转或单点校准方案中，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，所以在无翻转或单点校准方案中，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)，ADXL346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_X、DATA_Y和DATA_Z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15.6 mg/LSB，与选定的g范围无关。

举例来说，假设ADXL346处于全分辨率模式，灵敏度典型值为256 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3.9 mg或偏移寄存器LSB的四分之一。

ADXL346

由于偏移寄存器为附加寄存器，要加负号，并四舍五入至最接近的偏移寄存器LSB：

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

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

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

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ADXL346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ADXL346后，偏移寄存器回到默认值0x00。

由于无翻转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。例如，如果前面例子中实际灵敏度为250 LSB/g，偏移量应该为15 LSB，而非9 LSB。为了减少这种误差，可以额外选取z轴在0g场的测量点， Z_{ACTUAL} 公式可使用0g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8)。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。

准确的自测测量需要ADXL346正确配置。器件应设置成100 Hz至800 Hz或3200 Hz的数据速率，因此应确保向BW_RATE寄存器(地址0x2C)的速率位(位D3至位D0)写入0x0A至0x0D或0x0F的值。器件也必须置于正常功耗模式，方法是确保BW_RATE寄存器的LOW_POWER位(位D4)清零(LOW_POWER位 = 0)，以启动自测测量。建议将器件设置为全分辨率16 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FULL_RES位(位D3)置1并将值0x03写入范围位(位D1和位D0)来完成。这将产生很高的测量动态范围和3.9 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。平均值应储存并适当标记为自测禁用数据，即 $X_{\text{ST_OFF}}$ 、 $Y_{\text{ST_OFF}}$ 和 $Z_{\text{ST_OFF}}$ 。

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 $X_{\text{ST_ON}}$ 、 $Y_{\text{ST_ON}}$ 和 $Z_{\text{ST_ON}}$ 。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：

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

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

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

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模式，这些值可以转换为加速度的g值，方法是用3.9 mg/LSB的比例因子乘以每个值。此外，表15至表18对应于转换为LSB的自测范围，并可与 V_s 为2.6 V时测得的自测变化比较。其他电压下，最小和最大自测输出值应根据(乘以)表14所示的比例因子进行调整。如果器件置于±2 g、10位或全分辨率模式下，则应使用表15列出的值。虽然可使用固定10位模式或16 g以外的范围，但这将需要使用一组不同的值，如表16至表18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。

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。

使用自测来验证加速度计功能的另一个有效方法是以某一速率切换自测，然后对输出执行FFT。在自测的切换频率处，FFT应有一个对应的信号音。这种方法可以消除测试与电源电压和自测幅度的相关性，否则测试结果可能在相当宽的范围变化。

方向检测

ADXL346的方向功能通过orient寄存器(地址0x3C)同时报告2D和3D方向。V2和V3位(orient寄存器的D6和D3位)报告2D和3D方向码的有效性。如果V2或V3置1，则相应的代码为有效方向。如果V2或V3清0，则加速度计的方向未知，例如方向可能处于有效区域之间的死区内。

2D方向检测利用x轴和y轴与重力的关系来确定加速度计的方向(见图50和表25)。纵向正向是指x轴几乎与重力矢量对齐,指向上方,与重力矢量方向相反。纵向负向与竖直正向相反,x轴指向下方,与重力矢量方向一致。横向正向是指y轴几乎与重力矢量对齐,指向上方,远离重力矢量。横向负向是与横向正向相反的方向。死区如图50的纵向正向(+X)和纵向负向(-X)方向图所示。对于横向正向(+Y)和横向负向(-Y),这些区域也存在,如图50所示。

3D方向还包括z轴。如果将加速度计置于笛卡尔坐标系中,如“敲击符号”部分的图49所示,则器件上侧对应于正Z轴方向,前方对应于正x轴方向,右侧对应于正y轴方向。

表26所示的状态对应于加速度计的哪一侧指向上方,与重力矢量方向相反。如图49所示,加速度计处于上方状态。如果器件翻转,使得上方朝下,与重力方向一致,则加速度计报告方向处于下方状态。如果调整器件,使得正x轴或正y轴方向朝上,远离重力矢量,则加速度计报告方向分别为正面或左侧。

检测方向变化的算法是在对输出加速度数据进行滤波以消除高频运动效应之后执行。这是利用一个低通滤波器来执行,其带宽由分频位(ORIENT_CONF寄存器,地址0x3B)设置。方向滤波器同样使用输出数据寄存器(地址0x32至0x37)提供的输出数据,因此,orient寄存器(地址0x3C)的更新速率与BW_RATE寄存器(地址0x2C)设置的数据速率相同。由于使用该输出数据,因此方向滤波器的带宽取决于BW_RATE寄存器设置的值,表24中的分频带宽值参考选定的输出数据速率。

为消除大部分人为运动影响,例如步行或摇晃,选择的ORIENT_CONF寄存器(地址0x3B)的分频位(位[D2:D0])值应将带宽有效限制在1 Hz或2 Hz。例如,输出数据速率为100 Hz时,选择分频值为3 (ODR/100)将获得1 Hz的方向检测带宽。为实现最佳效果,建议正常功耗模式下使用25 Hz以上的输出数据速率,低功耗模式下使用200 Hz以上的输出数据速率。

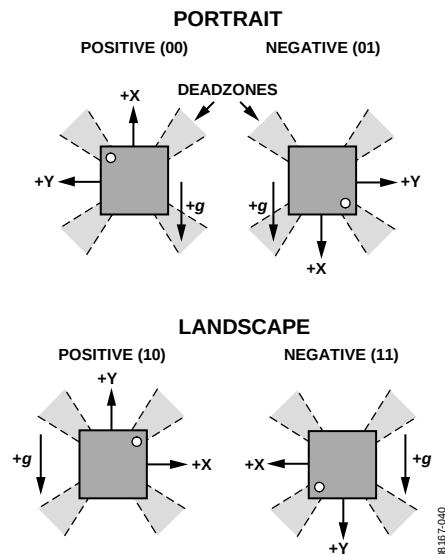


图50. 2D方向和对应的代码

两个方向位置之间的死区宽度由ORIENT_CONF寄存器(地址0x3B)的死区位(位[D6:D4])值确定。死区大小可按照表24给出的值指定。死区角是指方向被视为无效的总角度。因此,如果一个死区为15.4,则两个相邻区域的等分线左右各有7.7。图51显示了一个15.4死区的例子。应当注意,表24所示的值对应于典型的死区角度,其中重力矢量完全包含在两个轴中(xy、xz或yz),这些值只能用作设置的出发点。如果器件方向不正,导致重力在三个轴上的投影都不是零度,那么有效灵敏度会降低,死区角也会增大。因此,对于具体应用需要进行评估,以确定死区的最佳设置。

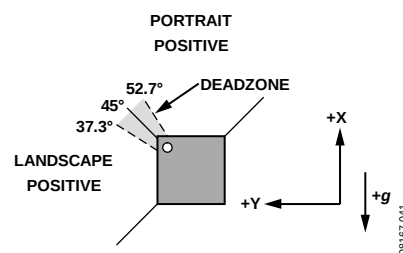


图51. 15.4死区的方向

ORIENT_CONF寄存器(地址0x3B)的INT_ORIENT位(位D7)置1时,如果器件被置于新的有效方向,就会产生中断。一次只能有一个方向检测模式(2D或3D)产生中断。方向检测模式通过设置或清零ORIENT_CONF寄存器(地址0x3B)的INT_3D位(位D3)来选择。更多信息参见“寄存器0x3B-ORIENT_CONF(读/写)”部分。

ADXL346

写入BW_RATE寄存器或将器件置于待机模式会复位方向功能，清除方向滤波器和方向状态。然而，如果下一输出样本期间的方向不同于默认值(2D检测是+X，3D方向未定)，这些操作将导致方向中断(如已使能)。

高位数据速率的数据格式

3200 Hz和1600 Hz输出数据速率下的数据格式变化取决于工作模式(全分辨率或固定10位分辨率)和所选输出范围。

在全分辨率或±2 g、10位分辨率模式下使用3200 Hz或1600 Hz输出数据速率时，输出数据字的LSB始终为0。数据未对齐时，这对应于DATAx0寄存器的位D0，如图52所示。数据左对齐且器件在±2 g、10位模式下工作时，输出数据字的LSB

是DATAx0寄存器的位D6。在全分辨率模式下，数据左对齐时，LSB的位置根据选定的输出范围而变化。对于±2 g范围，LSB为DATAx0寄存器的位D6；对于±4 g，则为DATAx0的位D5；对于±8 g，则为DATAx0寄存器的位D4；而对于±16 g，则为DATAx0寄存器的位D3，如图53所示。

在固定10位分辨率模式，当输出数据速率为3200 Hz和1600 Hz且输出范围为±4 g、±8 g和±16 g时，得到的LSB有效且随着应用的加速度而变化。因此，在这些工作模式中，输出数据右对齐时，位D0并不总为0；输出数据左对齐时，位D6并不总为0。以800Hz或更低的数据速率工作时，在所有范围内和模式下均可得到有效的LSB，且LSB随着应用的加速度而变化。

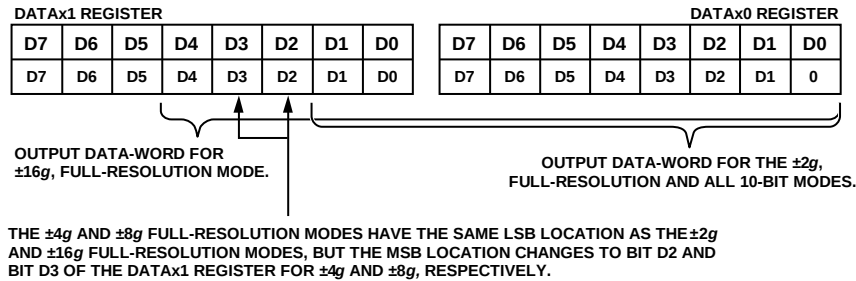


图52. 输出数据右对齐时的数据格式

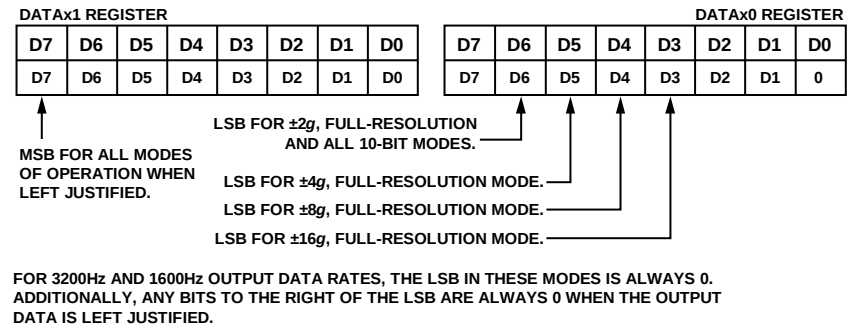


图53. 输出数据左对齐时的数据格式

噪声性能

表1所示的噪声规格对应于ADXL346在正常功耗模式、100 Hz的输出数据速率(BW_RATE寄存器(地址0x2C)的LOW_POWER位=0, rate位=0x0A)下的典型噪声性能。在数据速率小于100 Hz的正常功耗模式下, ADXL346的噪声等同于100 Hz输出数据速率下所产生的噪声(以LSB表示)。如果数据速率大于100 Hz, 每当数据速率加倍时, 噪声即大致变大 $\sqrt{2}$ 倍。例如, 在400 Hz的输出数据速率下, x轴和y轴的典型噪声小于2 LSB rms, z轴的典型噪声小于3 LSB rms。

低功耗模式(BW_RATE寄存器(地址0x2C)的LOW_POWER位=1)下, 对于所有有效数据速率, ADXL346的噪声均为常数, 如表8所示。x轴和y轴的典型值小于2.83 LSB rms, z轴的典型值小于4.25 LSB rms。

图54为ADXL346在正常功耗模式和低功耗模式下运行时的噪声性能趋势。

图55显示了ADXL346的典型艾伦偏差。如图所示, 该器件的1/f转折频率很低, 允许大约100 μg 的绝对分辨率(假定存在足够积分时间)。该图还显示x轴和y轴的噪声密度为420 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$, z轴为530 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

图56显示了ADXL346在不同电源电压下的典型噪声性能趋势。性能归一化为测试和特定电源电压 $V_s = 2.6\text{ V}$ 。在电源电压范围内, x轴的噪声性能最佳, 相对于1.8 V标称电源电压工作模式的增幅一般小于25%。y轴和z轴的噪声性能相当, 相对于1.8 V标称电源电压工作模式的增幅一般小于35%。应注意, 如图54所示, z轴的噪声一般高于y轴; 因此, 随着电源电压的变化, 虽然z轴和y轴噪声大致以同样的百分比变化时, 但z轴的变化幅度比y轴的变化幅度要大。

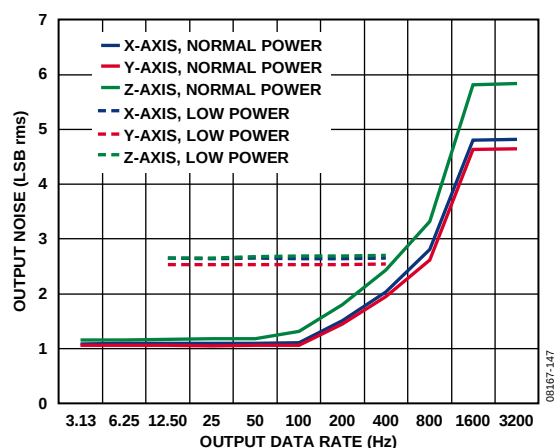


图54. 正常功耗模式和低功耗模式下的噪声与输出数据速率的关系, 全分辨率(256 LSB/g)

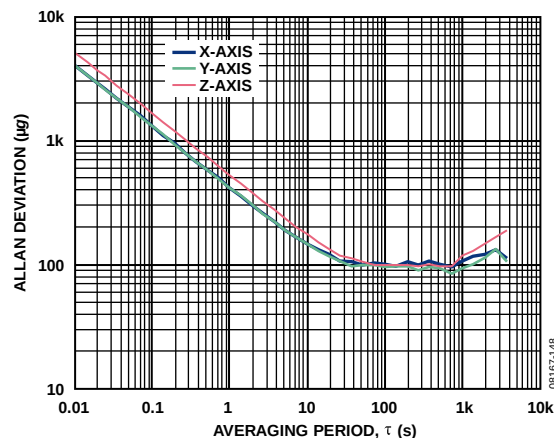


图55. 艾伦偏差

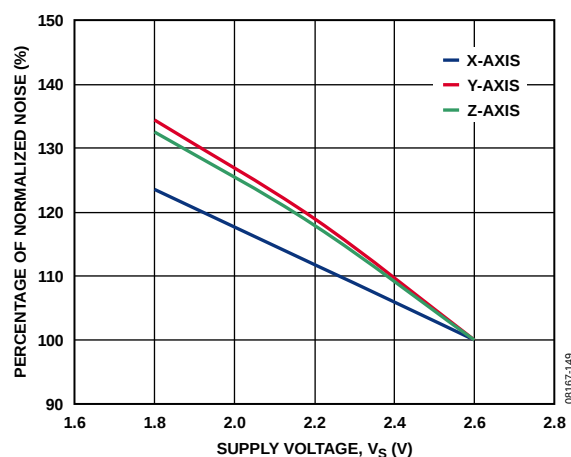


图56. 归一化噪声与电源电压的关系

非2.6 V电压下的操作

ADXL346在电源电压 $V_s = 2.6\text{ V}$ 下进行测试且以其为额定电源电压, 然而, V_s 可以高达2.75 V或低至1.7 V。某些性能参数随着电源电压变化而变化, 包括偏移、灵敏度、噪声、自测和电源电流。

电源电压改变时, 静电力会发生细微变化, 导致偏移和灵敏度也有细微变化。在电源电压 $V_s = 1.8\text{ V}$ 下运行时, x轴和y轴偏移通常比 $V_s = 2.6\text{ V}$ 运行时高25 mg。在电源电压 $V_s = 1.8\text{ V}$ 下运行时, Z轴通常要比在电源电压 $V_s = 2.6\text{ V}$ 下运行时低20 mg。 $V_s = 2.6\text{ V}$ 时, x轴和y轴的灵敏度为标称值256 LSB/g (全分辨率或 $\pm 2\text{ g}$ 、10位分辨率), 而电源电压为1.8 V时, 其灵敏度变为250 LSB/g。z轴灵敏度不受电源电压影响, 2.6 V时和1.8 V时都相同。可以用简单的线性插值来确定其他电源电压下的偏移和灵敏度的典型值。

ADXL346

数据手册还讨论了噪声性能、自测响应和电源电流的变化。有关噪声性能的更多信息，请参阅“噪声性能”部分。自测部分讨论了在整个电压范围内的自测操作、与电源电压的平方关系，以及自测响应的g值与LSB的换算。最后，图33显示了100 Hz输出数据速率时电源电压对典型功耗的影响，所有其他输出数据速率都呈现相同趋势。

最低数据速率时的偏移性能

ADXL346提供多种输出数据速率和带宽选择，为广泛的应用而设计。但是，在最低数据速率时，如低于6.25 Hz时，整个温度范围内的偏移性能与其他数据速率时的性能明显不同。图57、图58和图59显示了ADXL346在6.25 Hz和更低数据速率下整个温度范围内的典型偏移性能。所有曲线图都归一化为100 Hz输出数据速率下的偏移；因此，非零值对应于该数据速率下温度变化引起的额外偏移量。

使用最低数据速率时，建议限制该器件的工作温度范围，以提供工作温度范围内的最小偏移量。由于器件间的差异，如果使用低于6.25 Hz的数据速率，还建议在整个温度范围内进行校准。

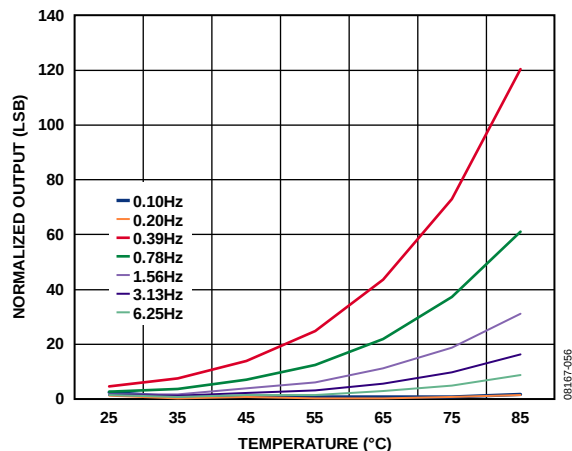


图57. 低数据速率下典型X轴输出与温度的关系，归一化为100 Hz输出数据速率， $V_s = 2.6\text{ V}$

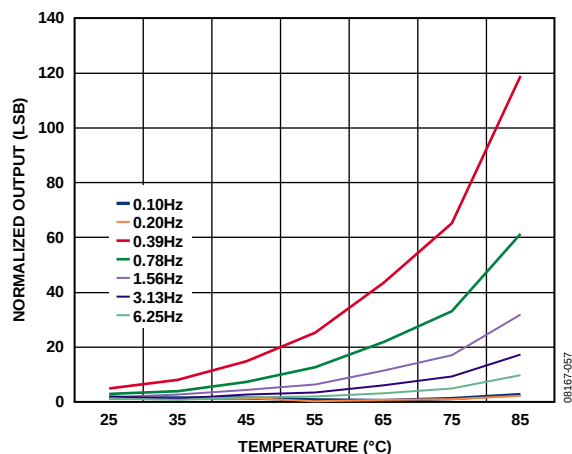


图58. 低数据速率下典型Y轴输出与温度的关系，归一化为100 Hz输出数据速率， $V_s = 2.6\text{ V}$

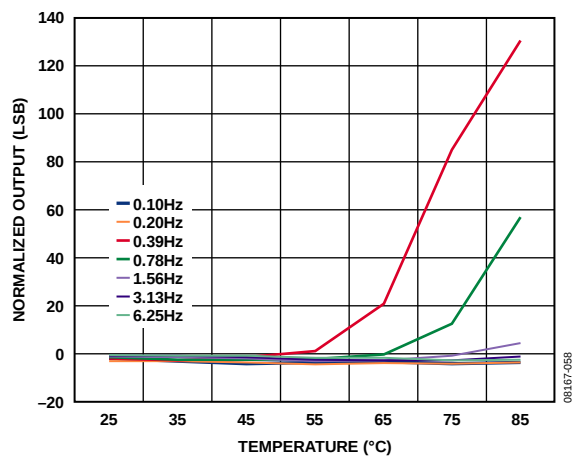


图59. 低数据速率下典型Z轴输出与温度的关系，归一化为100 Hz输出数据速率， $V_s = 2.6\text{ V}$

加速度灵敏度轴

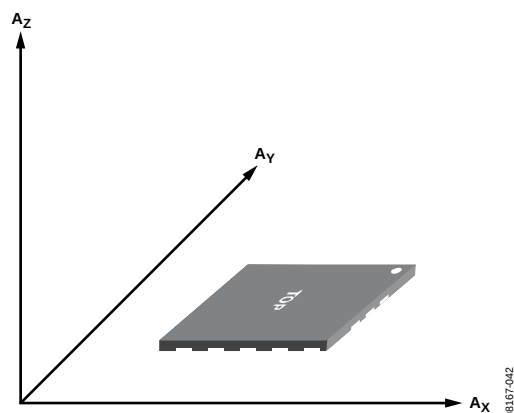


图60. 加速度灵敏度轴(沿敏感轴加速时相应输出增加)

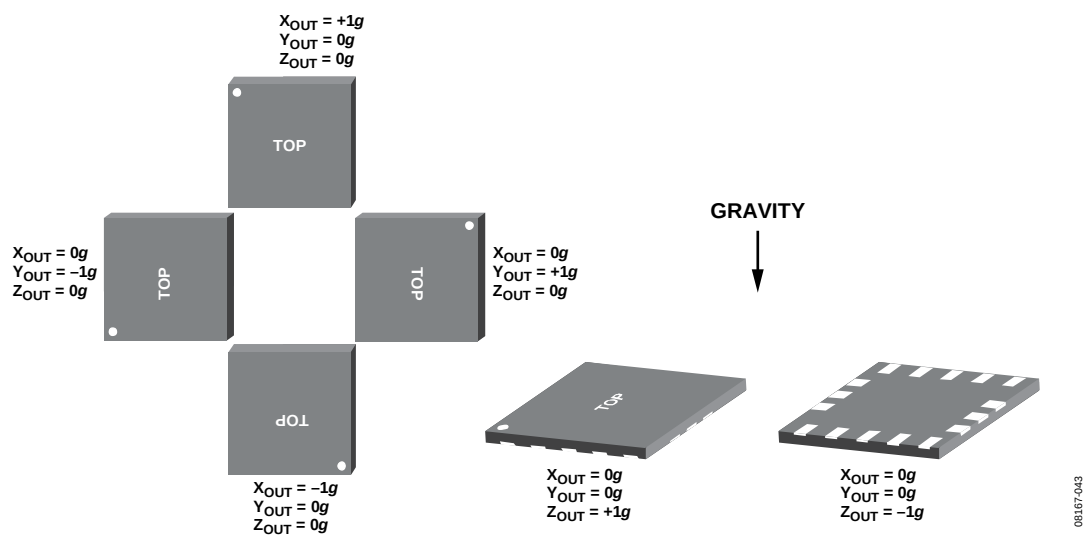


图61. 输出响应与相对于重力的方向的关系

ADXL346

布局和设计建议

图62给出了推荐的印刷电路板焊盘图形。图63和表27提供了有关推荐焊接温度曲线的详细信息。

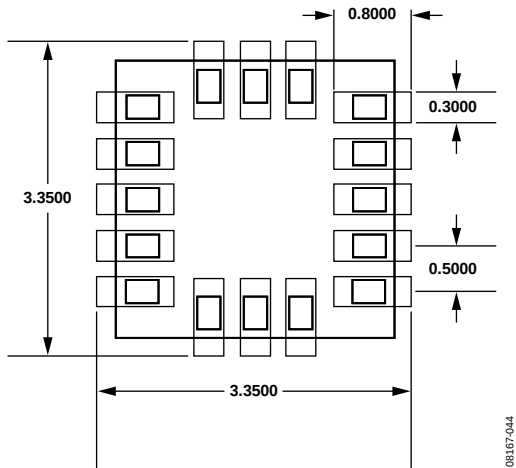


图62. 推荐的印刷电路板焊盘图形(图示尺寸单位：mm)

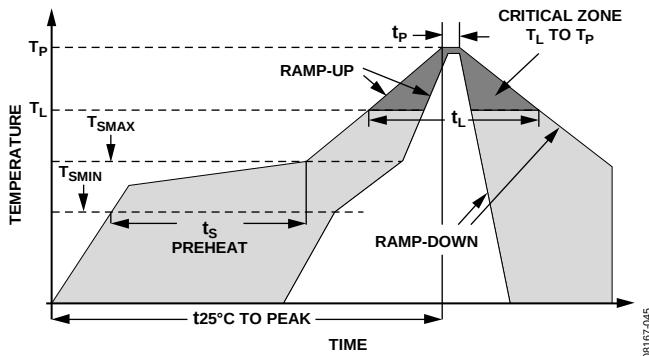


图63 推荐的焊接温度曲线

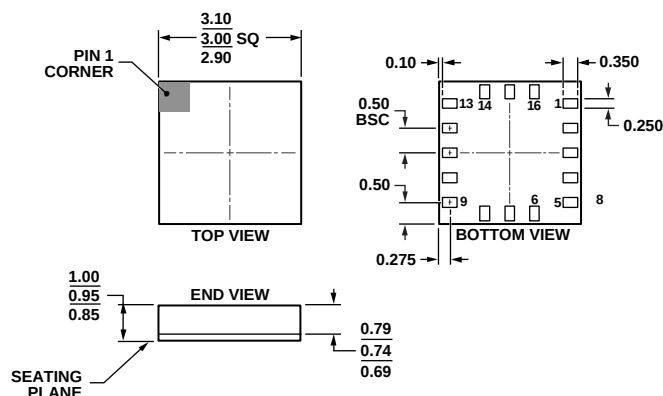
表27. 推荐的焊接温度曲线^{1,2}

曲线特征	条件	
	Sn63/Pb37	无铅
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 _S MIN)	100°C	150°C
最高温度(T _S MAX)	150°C	200°C
从T _S MIN到T _S MAX的时间(t _S)	60秒至120秒	60秒至180秒
T _S MAX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。

外形尺寸



0113-2010-B

图64. 16引脚基板栅格阵列封装 [LGA]

(CC-16-3)

焊接端子为镍上镀金

尺寸单位: mm

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	标识码
ADXL346ACCZ-R2	±2, ±4, ±8, ±16	2.6	−40°C至+85°C	16引脚基板栅格阵列[LGA]	CC-16-3	Y2Z
ADXL346ACCZ-RL	±2, ±4, ±8, ±16	2.6	−40°C至+85°C	16引脚基板栅格阵列[LGA]	CC-16-3	Y2Z
ADXL346ACCZ-RL7	±2, ±4, ±8, ±16	2.6	−40°C至+85°C	16引脚基板栅格阵列[LGA]	CC-16-3	Y2Z
EVAL-ADXL346Z				评估板		
EVAL-ADXL346Z-DB				惯性传感器开发/数据记录板		
EVAL-ADXL346Z-M				ADI公司的惯性传感器评估系统 (包括ADXL346卫星板)		
EVAL-ADXL346Z-S				ADXL346卫星板, 独立式		

¹ Z = 符合RoHS标准的器件。

注释

I²C指最初由Philips Semiconductors(现为NXP Semiconductors)开发的一种通信协议。

ADI公司为汽车应用提供专用产品，详情请联系当地ADI公司销售代表。ADI公司销售的标准产品并非设计用于或未经批准用于生命支持、植入式医疗设备、交通运输、核、安全或其他设备；在此类应用中，产品故障可能会引起人身伤亡、严重财产损失或严重环境灾难。买方使用或销售标准产品以用于上述危重应用时，一切风险概由买方承担；由于这种不合目的的使用而导致ADI公司蒙受损失、索赔或发生诉讼时，买方同意保护并赔偿ADI公司，使其不受损害。