

### 特性

超低功耗:  $V_S = 2.5\text{ V}$ 时(典型值), 测量模式下低至23 $\mu\text{A}$ ,

待机模式下为0.1 $\mu\text{A}$

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,  $\pm 16g$ 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

单振/双振检测

活动/非活动监控

自由落体检测

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线和4线) 和I<sup>2</sup>C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°C)

抗冲击能力: 10,000 g

无铅/符合RoHS标准

小而薄: 3 mm × 5 mm × 1 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

### 应用

单电源数据采集系统

仪器仪表

过程控制

电池供电系统

医疗仪器

### 概述

ADXL345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 $\pm 16g$ 。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I<sup>2</sup>C数字接口访问。

ADXL345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。其高分辨率(3.9mg/LSB), 能够测量不到1.0°的倾斜角度变化。

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振和双振动作。自由落体检测功能可以检测器件是否正在掉落。这些功能可以独立映射到两个中断输出引脚中的一个。正在申请专利的集成式存储器管理系统采用一个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。

ADXL345采用3 mm × 5 mm × 1 mm, 14引脚小型超薄塑料封装。

功能框图

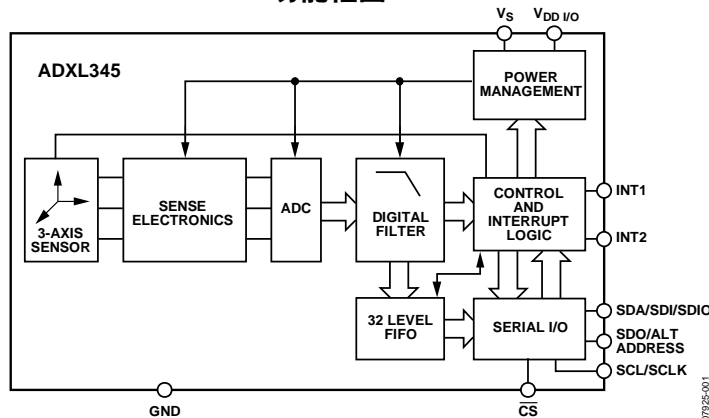


图1.

Rev. A

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. See the last page for disclaimers.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781.329.4700 [www.analog.com](http://www.analog.com)  
Fax: 781.461.3113 ©2009—2010 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

应用..... 1

概述..... 1

功能框图..... 1

修订历史..... 2

技术规格..... 3

绝对最大额定值..... 5

    热阻..... 5

    封装信息..... 5

    ESD警告..... 5

引脚配置和功能描述..... 6

典型工作特性..... 7

工作原理..... 12

    电源时序..... 12

    省电..... 13

串行通信..... 14

    SPI..... 14

    I<sup>2</sup>C..... 17

    中断..... 19

    FIFO..... 20

修订历史

2010年4月-修订版0至修订版A

更改特性部分和概述部分..... 1

更改技术规格部分..... 3

更改表2和表3..... 5

增加封装信息部分、图2和表4；重新排序..... 5

更改表5的引脚12描述..... 6

增加典型工作特性部分..... 7

更改工作原理和电源时序部分..... 12

更改省电部分、表7、表8、自动休眠模式部分和待机模式部分..... 13

更改SPI部分..... 14

更改图36至图38..... 15

更改表9和表10..... 16

更改I<sup>2</sup>C部分和表11..... 17

更改表12..... 18

更改中断、活动、静止、自由落体部分..... 19

增加表13..... 19

更改FIFO部分..... 20

更改自测部分和表15至表18..... 21

增加图42和表14..... 21

更改表19..... 22

自测..... 21

寄存器映射..... 22

寄存器定义..... 23

应用信息..... 27

电源去耦..... 27

机械安装注意事项..... 27

敲击检测..... 27

阈值..... 28

链接模式..... 28

休眠模式与低功耗模式..... 29

偏移校准..... 29

使用自测..... 30

高位数据速率的数据格式化..... 31

噪声性能..... 32

非2.5V电压下的操作..... 32

最低数据速率时的偏移性能..... 33

加速度灵敏度轴..... 34

布局和设计建议..... 35

外形尺寸..... 36

订购指南..... 36

更改寄存器0x1D – THRESH\_TAP(读/写)部分、寄存器0x1E、寄存器0x1F、寄存器0x20 – OFSX, OFSY, OSXZ(读/写)部分、寄存器0x21 – DUR(读/写)部分、寄存器0x22 – Latent(读/写)部分以及寄存器0x23 – Window(读/写)部分..... 23

更改ACT\_X启用位、INACT\_X启用位部分、寄存器0x28 – THRESH\_FF(读/写)部分、寄存器0x29 – TIME\_FF(读/写)部分、Asleep位部分和AUTO\_SLEEP位部分..... 24

更改休眠位部分..... 25

更改电源去耦部分、机械安装注意事项部分及敲击检测部分..... 27

更改阈值部分..... 28

更改休眠模式与低功耗模式部分..... 29

增加偏移校准部分..... 29

更改使用自测部分..... 30

增加高位数据速率的数据格式化部分、图48和图49..... 31

增加噪声性能部分、图50至图52，及非2.5伏电压下的操作部分..... 32

增加最低数据速率时的偏移性能部分、图53至图55..... 33

2009年6月-版本0：初始版

## 技术规格

除非另有说明,  $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_S = 2.5\text{ V}$ ,  $V_{DD\text{ I/O}} = 1.8\text{ V}$ , 加速度 = 0 g,  $C_S = 10\text{ }\mu\text{F}$  钽电容,  $C_{I/O} = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ , 输出数据速率(ODR) = 800Hz。保证所有最低和最高技术规格。无法保证典型技术规格。

表1

表参数	测试条件	最小值	典型值 <sup>1</sup>	最大值	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		$\pm 0.5$		%
轴间对齐误差			$\pm 0.1$		Degrees
跨轴灵敏度 <sup>2</sup>			$\pm 1$		%
传输分辨率	各轴				
所有g范围	10位分辨率		10		Bits
$\pm 2\text{g}$ 范围	全分辨率		10		Bits
$\pm 4\text{g}$ 范围	全分辨率		11		Bits
$\pm 8\text{g}$ 范围	全分辨率		12		Bits
$\pm 16\text{g}$ 范围	全分辨率		13		Bits
灵敏度	各轴				
$X_{\text{OUT}}$ 、 $Y_{\text{OUT}}$ 、 $Z_{\text{OUT}}$ 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		$\pm 1.0$		%
$X_{\text{OUT}}$ 、 $Y_{\text{OUT}}$ 和 $Z_{\text{OUT}}$ 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			$\pm 0.01$		%/ $^{\circ}\text{C}$
0g偏移					
$X_{\text{OUT}}$ 和 $Y_{\text{OUT}}$ 的0g输出	各轴	-150	0	+150	mg
$Z_{\text{OUT}}$ 的0g输出		-250	0	+250	mg
相对于理想值的0g输出偏差, $X_{\text{OUT}}$ 、 $Y_{\text{OUT}}$			$\pm 35$		mg
相对于理想值的0g输出偏差, $Z_{\text{OUT}}$			$\pm 40$		mg
X轴和Y轴的0 g偏移与温度的关系			$\pm 0.4$		mg/ $^{\circ}\text{C}$
Z轴的0 g偏移与温度的关系			$\pm 0.8$		mg/ $^{\circ}\text{C}$
噪声					
X轴和Y轴	$\pm 2\text{g}$ , 10位分辨率或所有g范围, 全分辨率, ODR = 100 Hz		0.75		LSB rms
Z轴	$\pm 2\text{g}$ , 10位分辨率或所有g范围, 全分辨率, ODR = 100 Hz		1.1		LSB rms
输出数据速率和带宽	用户可选				
输出数据速率(ODR) 3, 4, 5		0.1		3200	Hz
自测 <sup>6</sup>					
X轴上的输出变化		0.20		2.10	g
Y轴上的输出变化		-2.10		-0.20	g
Z轴上的输出变化		0.30		3.40	g
电源					
工作电压范围 ( $V_S$ )		2.0	2.5	3.6	V
接口电压范围 ( $V_{DD\text{ I/O}}$ )		1.7	1.8	$V_S$	V
电源电流	ODR $\geq 100\text{Hz}$		140		$\mu\text{A}$
待机模式漏电流	ODR < 10 Hz		30		$\mu\text{A}$
待机电流			0.1		$\mu\text{A}$
开启时间和唤醒时间 <sup>7</sup>	ODR = 3200Hz		1.4		ms

# ADXL345

参数	测试条件	最小值	典型值 <sup>1</sup>	最大值	单位
参温度 工作温度范围		-40		+85	°C
重量 器件重量			30		mg

<sup>1</sup>除了0g输出和灵敏度以外，所示典型技术规格至少为零件总体的68%，并基于平均±1σ最差情况，表示为目标值。对于0g偏移和灵敏度，相对于理想值的偏差描述了平均±1σ的最差情况。

<sup>2</sup>跨轴灵敏度定义为任意两轴之间的耦合。

<sup>3</sup>带宽为-3dB频率，为输出数据速率的一半，带宽= ODR/ 2。

<sup>4</sup> 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。

<sup>5</sup>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。详情请参阅“最低数据速率时的偏移性能”部分。

<sup>6</sup>自测变化定义为SELF\_TEST位= 1(在DATA\_FORMAT寄存器上，地址0x31)时的输出(g)减去SELF\_TEST位= 0时的输出(g)。由于器件过滤的作用，启用或禁用自测时，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(LOW\_POWER位= 0，在BW\_RATE寄存器内，地址0x2C)，以便自测正常运行。

<sup>7</sup>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	10,000g
任意轴，有电	10,000g
$V_s$	-0.3 V至+3.9 V
$V_{DD}$ I/O	-0.3 V至+3.9 V
数字引脚	-0.3 V至 $V_{DD}$ I/O+ 0.3 V或3.9 V， 取较小者
所有其他引脚	-0.3 V至+3.9 V
输出短路持续时间(任意引脚接地)	未定
温度范围	
有电	-40℃ 至+105℃
存储	-40℃ 至+105℃

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	$\theta_{JA}$	$\theta_{JC}$	器件重量
14-引脚 LGA	150℃/W	85℃/W	30 mg

封装信息

图2和表4的信息提供了ADXL345封装标识的详情。产品可用性的完整列表请参阅“订购指南”部分。

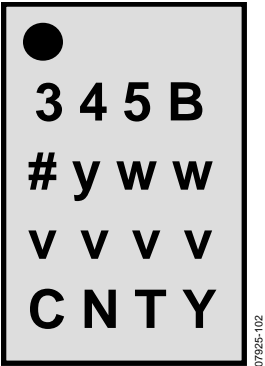


图2.产品封装信息（顶视图）

表4 封装标识信息

标识码	字段说明
345B	ADXL345器件标识符
#	符合RoHS标准
yww	日期代码
vvvv	工厂批次代码
CNTY	原产国

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，避免器件性能下降或功能丧失。

# ADXL345

## 引脚配置和功能描述

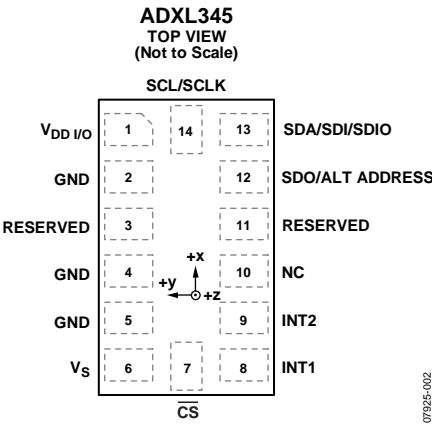


图3.引脚配置(顶视图)

表5. 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	描述
1	V <sub>DD I/O</sub>	数字接口电源电压。
2	GND	该引脚必须接地。
3	RESERVED	保留。该引脚必须连接到VS或保持断开。
4	GND	该引脚必须接地。
5	GND	该引脚必须接地。
6	V <sub>S</sub>	电源电压。
7	$\overline{\text{CS}}$	片选。
8	INT1	中断1输出。
9	INT2	中断2输出。
10	NC	内部不连接。
11	RESERVED	保留。该引脚必须接地或保持断开。
12	SDO/ALT ADDRESS	串行数据输出(SPI 4线)/备用I <sup>2</sup> C地址选择(I <sup>2</sup> C)
13	SDA/SDI/SDIO	串行数据(I <sup>2</sup> C)/串行数据输入(SPI 4线)/串行数据输入和输出(SPI 3线)。
14	SCL/SCLK	串行通信时钟。SCL为I2C时钟，SCLK为SPI时钟。

# 典型工作特性

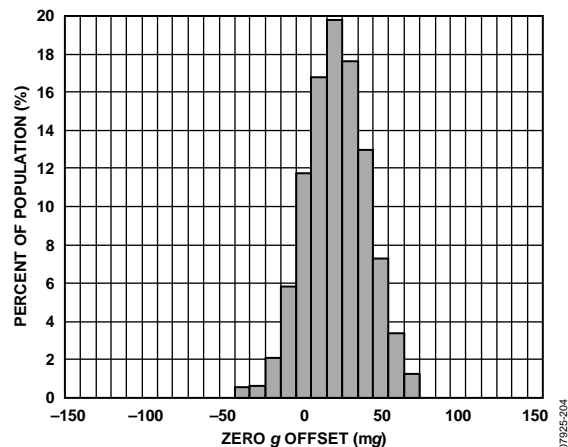


图4 25 °C时的X轴0g偏移, VS = 2.5 V

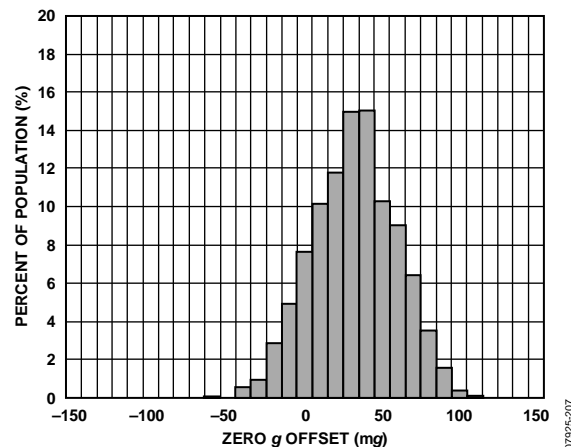


图7 25 °C时的X轴0g偏移, VS = 3.3 V

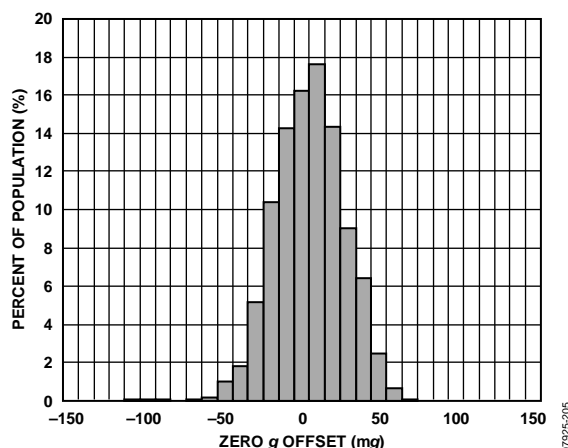


图5 25 °C时的Y轴0g偏移, VS = 2.5 V

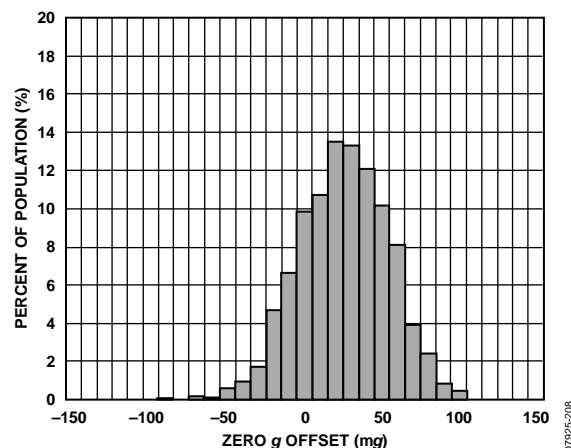


图8 25 °C时的Y轴0g偏移, VS = 3.3 V

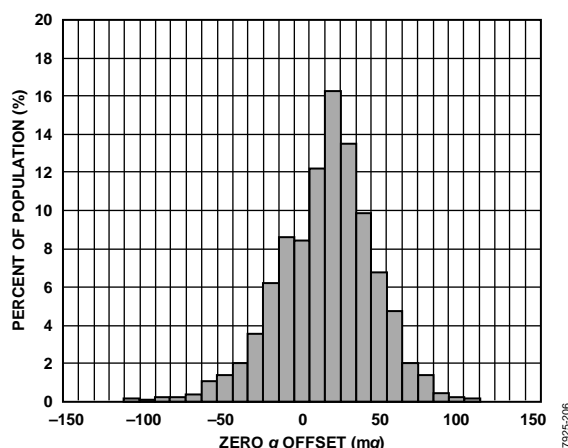


图6 25 °C时的Z轴0g偏移, VS = 2.5 V

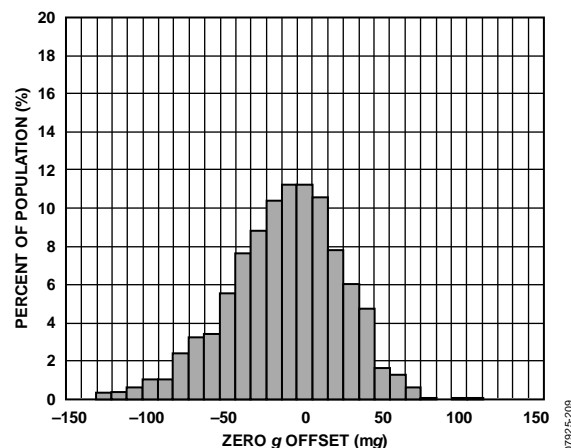


图9 25 °C时的Z轴0g偏移, VS = 3.3 V

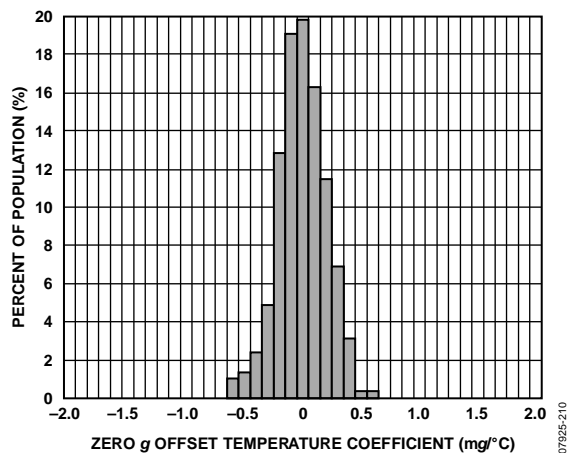


图10 X轴0g偏移温度系数,  $V_s = 2.5\text{ V}$

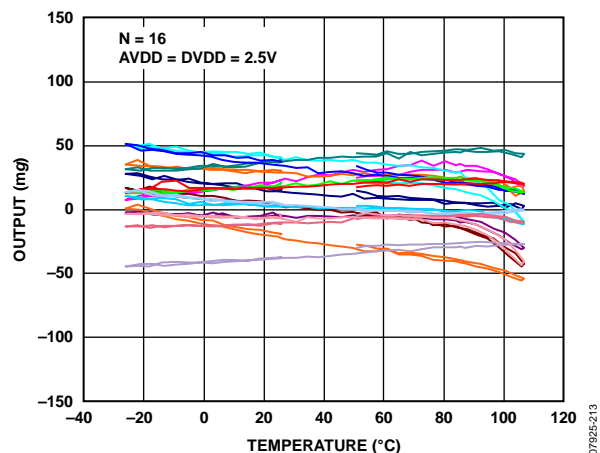


图13 X轴0g偏移与温度的关系—8个器件焊接到PCB,  $V_s = 2.5\text{ V}$

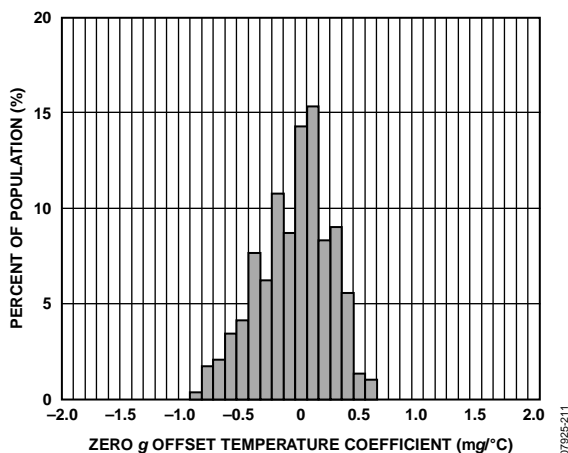


图11 Y轴0g偏移温度系数,  $V_s = 2.5\text{ V}$

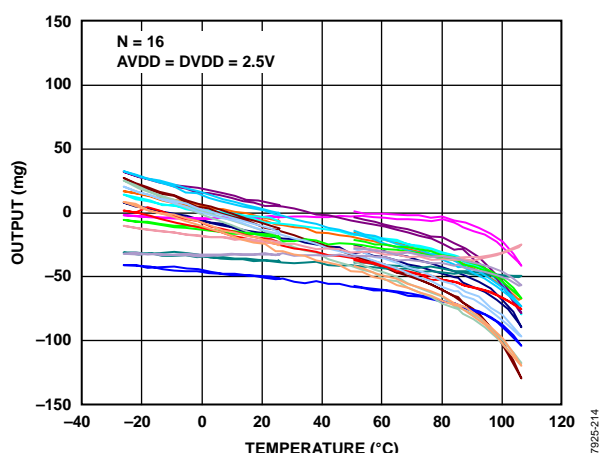


图14 Y轴0g偏移与温度的关系—8个器件焊接到PCB,  $V_s = 2.5\text{ V}$

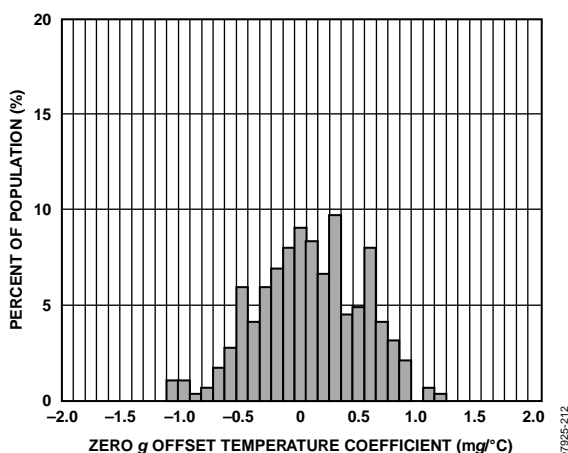


图12 Z轴0g偏移温度系数,  $V_s = 2.5\text{ V}$

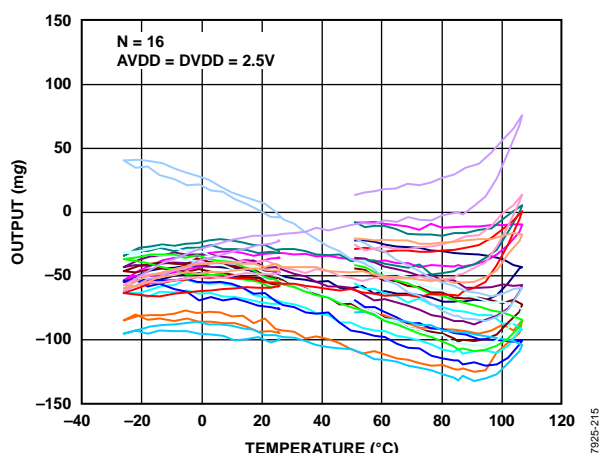
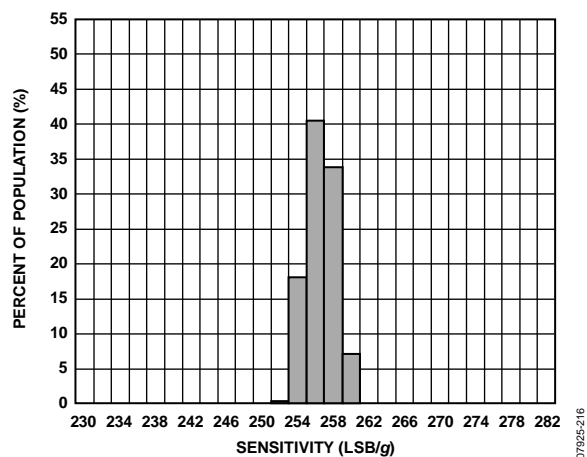
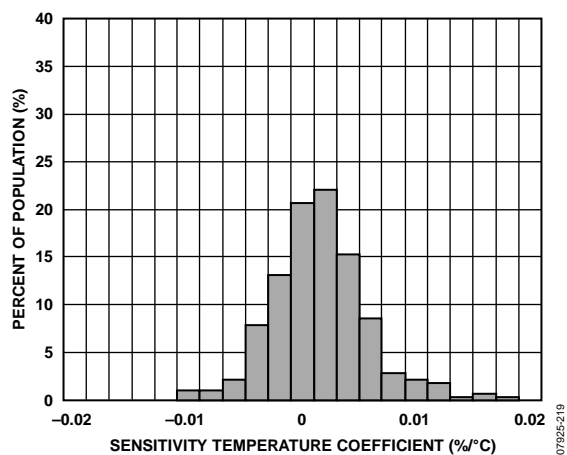
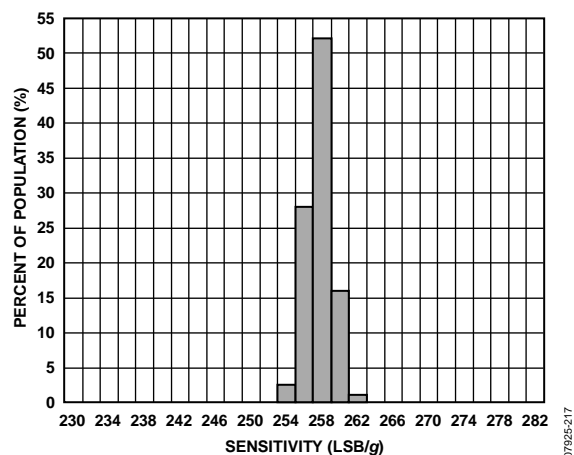
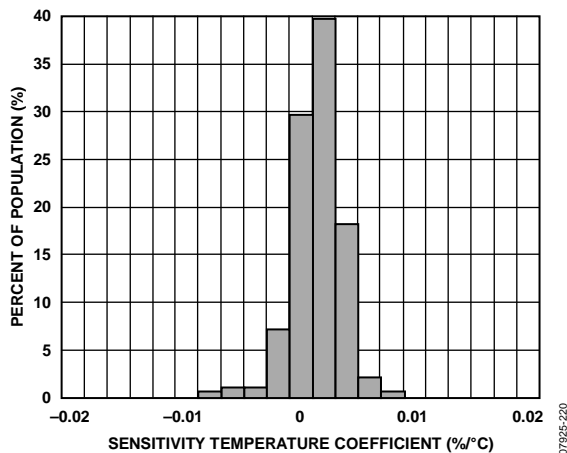
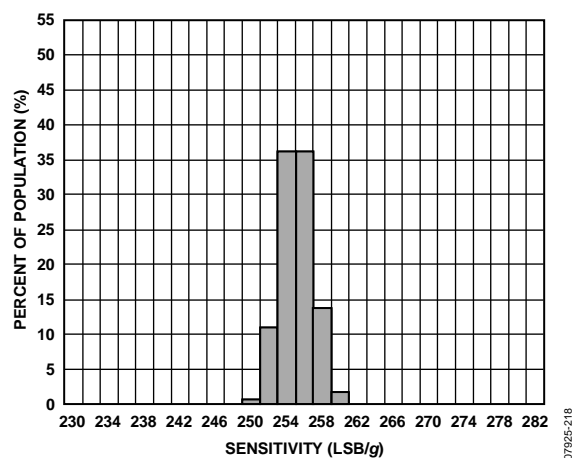
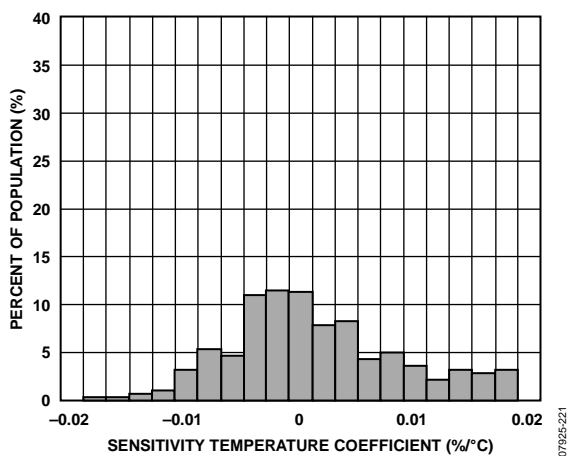


图15 Z轴0g偏移与温度的关系—8个器件焊接到PCB,  $V_s = 2.5\text{ V}$



图16 25 °C时的X轴灵敏度,  $V_s = 2.5\text{ V}$ , 全分辨率图19 X轴灵敏度温度系数,  $V_s = 2.5\text{ V}$ 图17 25 °C时的Y轴灵敏度,  $V_s = 2.5\text{ V}$ , 全分辨率图20 Y轴灵敏度温度系数,  $V_s = 2.5\text{ V}$ 图18 25 °C时的Z轴灵敏度,  $V_s = 2.5\text{ V}$ , 全分辨率图21 Z轴灵敏度温度系数,  $V_s = 2.5\text{ V}$

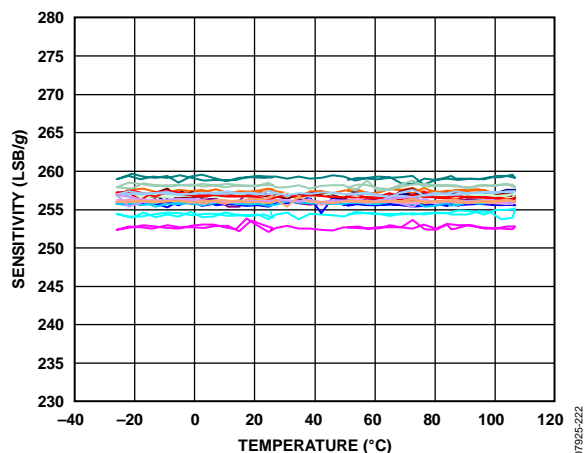


图22 X轴灵敏度与温度的关系—8个器件焊接到PCB,  $V_s = 2.5\text{ V}$ , 全分辨率

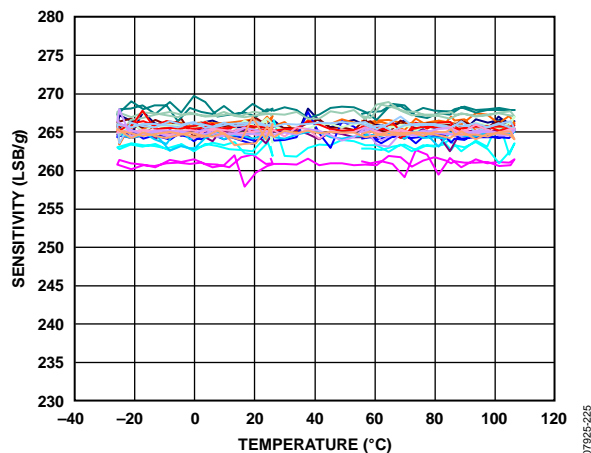


图25 X轴灵敏度与温度的关系—8个器件焊接到PCB,  $V_s = 3.3\text{ V}$ , 全分辨率

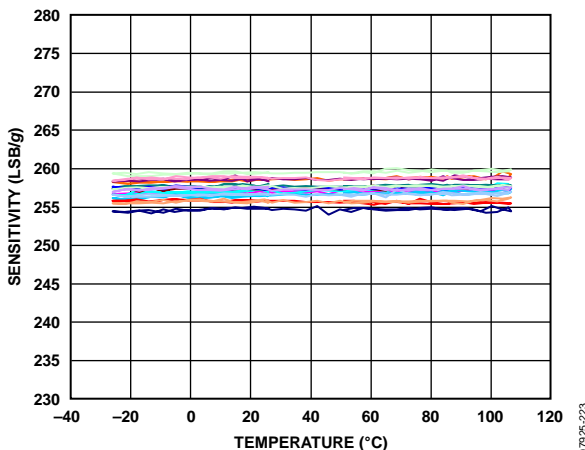


图23 Y轴灵敏度与温度的关系—8个器件焊接到PCB,  $V_s = 2.5\text{ V}$ , 全分辨率

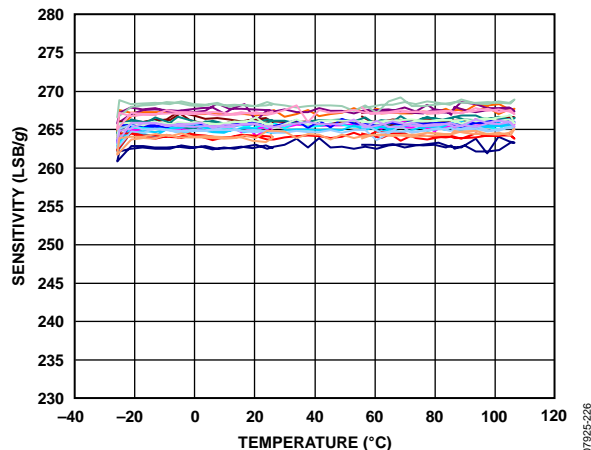


图26 Y轴灵敏度与温度的关系—8个器件焊接到PCB,  $V_s = 3.3\text{ V}$ , 全分辨率

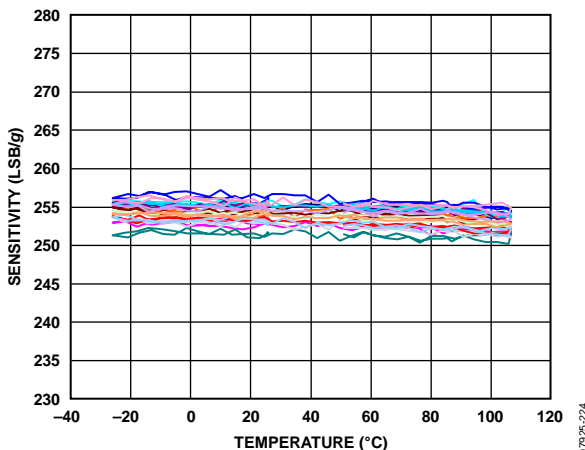


图24 Z轴灵敏度与温度的关系—8个器件焊接到PCB,  $V_s = 2.5\text{ V}$ , 全分辨率

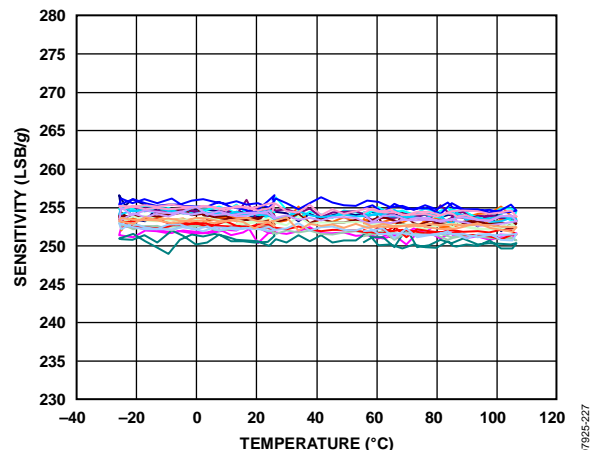
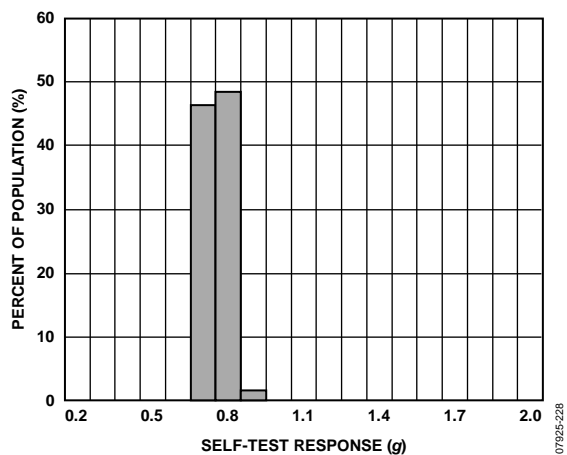
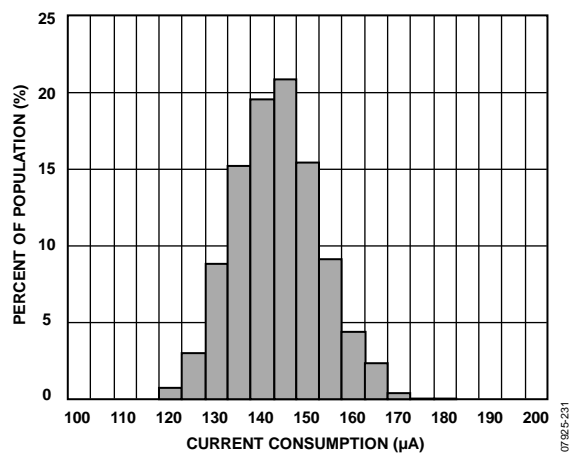
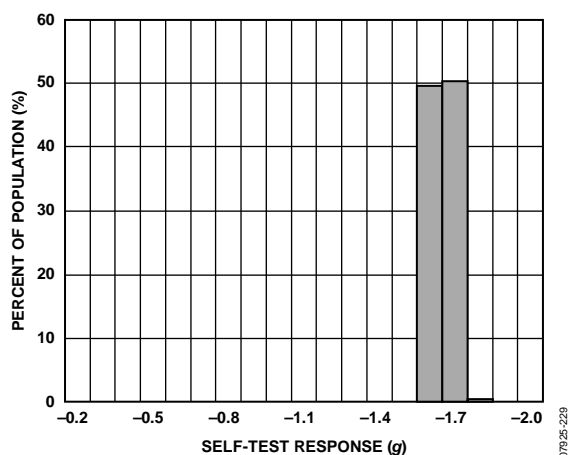
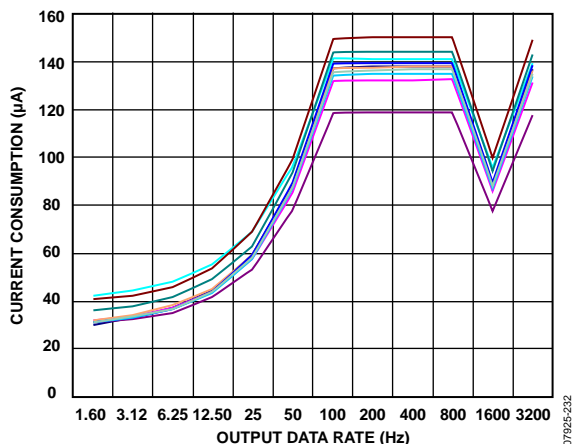
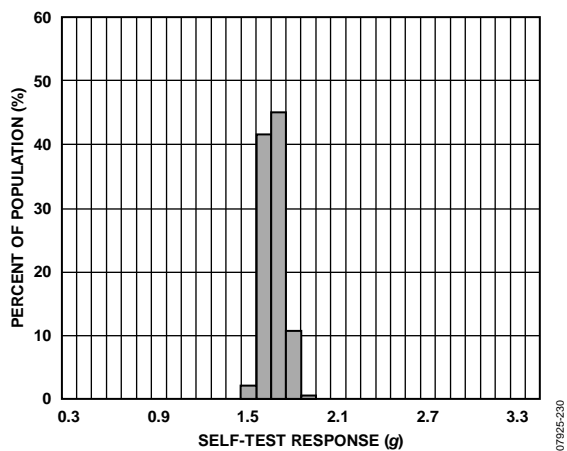
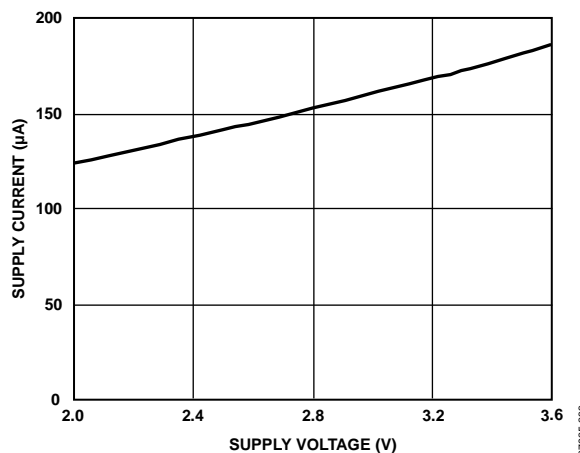


图27 Z轴灵敏度与温度的关系—8个器件焊接到PCB,  $V_s = 3.3\text{ V}$ , 全分辨率

图28 25 °C时的X轴自测响应,  $V_s = 2.5\text{ V}$ 图31 25 °C时的功耗, 100 Hz输出数据速率,  $V_s = 2.5\text{ V}$ 图29 25 °C时的Y轴自测响应,  $V_s = 2.5\text{ V}$ 图32 25°C时功耗与输出数据速率的关系—10个器件,  $V_s = 2.5\text{ V}$ 图30 25 °C时的Z轴自测响应,  $V_s = 2.5\text{ V}$ 图33 25 °C时的电源电流与电源电压的关系,  $V_s = 2.5\text{ V}$

工作原理

ADXL345是一款完整的3轴加速度测量系统，可选择的测量范围有±2 g，±4 g，±8 g或±16 g。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，使得器件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。由于应用加速度，多晶硅弹簧悬挂于晶圆表面的结构之上，提供力量阻力。

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。加速度使惯性质量偏转、差分电容失衡，从而传感器输出的幅度与加速度成正比。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ADXL345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ADXL345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，就可以容纳所需的接口电压。

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(位D3)\_启动。）此外，器件处于待机模式时，任何寄存器可以写入或读取，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

性条件	$V_s$	$V_{DD}$ 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，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 功耗模式

ADXL345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，12.5Hz至400Hz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。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2.5 V时的功耗值。

**表7典型功耗与数据速率**

( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = 2.5\text{ V}$ ,  $V_{DD\text{ I/O}} = 1.8\text{ V}$ )

输出数据 速率(Hz)	带宽 (Hz)	速率代码	$I_{DD}$ ( $\mu\text{A}$ )
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	60
12.5	6.25	0111	50
6.25	3.13	0110	45
3.13	1.56	0101	40
1.56	0.78	0100	34
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 低功耗模式 ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = 2.5\text{ V}$ ,  $V_{DD\text{ I/O}} = 1.8\text{ V}$ )  
下的典型功耗与数据速率**

输出数据 速率(Hz)	带宽 (Hz)	速率代码	$I_{DD}$ ( $\mu\text{A}$ )
400	200	1100	90
200	100	1011	60
100	50	1010	50
50	25	1001	45
25	12.5	1000	40
12.5	6.25	0111	34

## 自动休眠模式

如果ADXL345在静止期间自动切换到休眠模式，可以省电。要使能此功能，在THRESH\_INACT寄存器(地址0x25)和TIME\_INACT寄存器(地址0x26)设置一个值表示静止(适当值视应用而定)，然后在POWER\_CTL寄存器(地址0x2D)中设置AUTO\_SLEEP位(位D4)和链接位(位D5)。 $V_S$ 为2.5V时，该模式下低于12.5 Hz数据速率的功耗通常为23  $\mu\text{A}$ 。

## 待机模式

更低功率操作，也可以使用待机模式。待机模式下，功耗降低到0.1 $\mu\text{A}$ (典型值)。该模式中，无测量发生。在POWER\_CTL寄存器(地址0x2D)中，清除测量位(位D3)，可进入待机模式。器件在待机模式下保存FIFO内容。

## 串行通信

可采用SPI数字通信。上述两种情况下，ADXL345作为从机运行。 $\overline{CS}$ 引脚上拉至 $V_{DD}$  I/O，I<sup>2</sup>C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I<sup>2</sup>C两种操作模式下，ADXL345写入期间，应忽略从ADXL345传输到主器件的数据。

### SPI

对于SPI，可3线或4线配置，如图34和图35的连接图所示。在DATA\_FORMAT寄存器(地址0x31)中，选择4线模式清除SPI位(位D6)，选择3线模式则设置SPI位。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。如果主处理器的时钟极性和相位配置之前，将电源施加到ADXL345，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SPI时，推荐将SDO引脚上拉至 $V_{DD}$  I/O抑或通过10 k $\Omega$ 电阻下拉至接地。

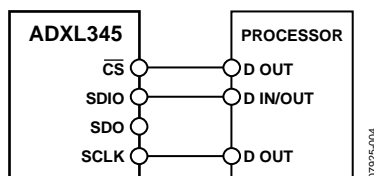


图34. 3线式SPI连接图

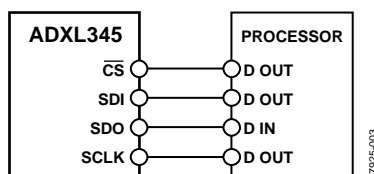


图35. 4线式SPI连接图

$\overline{CS}$ 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36至图38)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ADXL345指向下一个寄存器的读取/写入。时钟脉冲停止后，移位才随之中止， $\overline{CS}$ 失效。要执行不同不连续寄存器的读取或写入，传输之间 $\overline{CS}$ 必须失效，新寄存器另行处理。

图38显示了3线式SPI读取或写入的时序图。图36和图37分别显示了4线式SPI读取和写入的时序图。要进行该器件的正确操作，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400kHz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100kHz。以高于推荐的最大值输出数据速率运行，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。

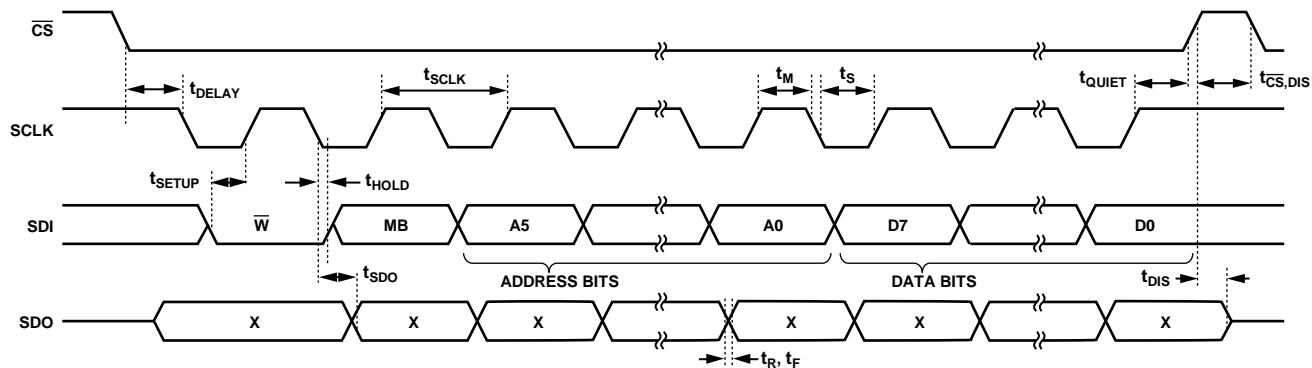


图36. 4线式SPI写入

07925-129

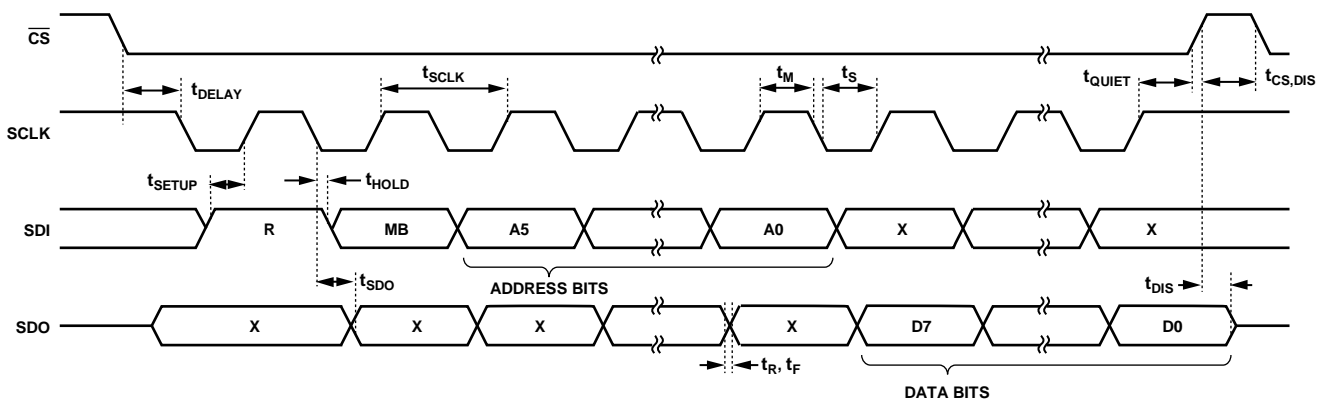
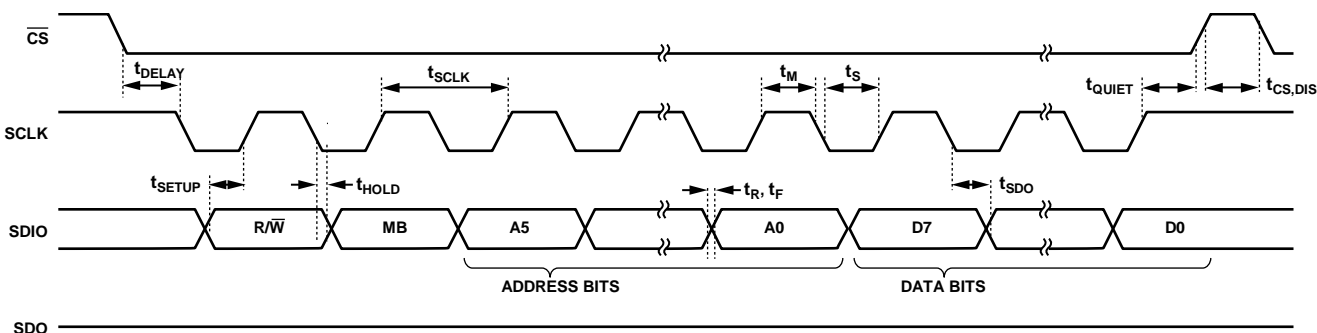


图37. 4线式SPI读取

07925-130



## NOTES

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

图38. 3线式SPI读取/写入

07925-131

# ADXL345

表9 SPI数字输入/输出

字参数	测试条件	限值 <sup>1</sup>		单位
		最小值	最大值	
数字输入				
低电平输入电压(VIL)			$0.3 \times V_{DD\ I/O}$	V
高电平输入电压(VIH)		$0.7 \times V_{DD\ I/O}$		V
低电平输入电流(VIL)	$V_{IN} = V_{DD\ I/O}$		0.1	μA
高电平输入电流(VIH)	$V_{IN} = 0\text{ V}$	-0.1		μA
数字输出				
低电平输出电压(VOL)	$I_{OL} = 10\text{ mA}$		$0.2 \times V_{DD\ I/O}$	V
高电平输出电压(VOH)	$I_{OH} = -4\text{ mA}$	$0.8 \times V_{DD\ I/O}$		V
低电平输出电流(IOL)	$V_{OL} = V_{OL, \max}$	10		mA
高电平输出电流(IOH)	$V_{OH} = V_{OH, \min}$		-4	mA
引脚电容	$f_{IN} = 1\text{ MHz}, V_{IN} = 2.5\text{ V}$		8	pF

<sup>1</sup>限值基于特性数据，未经生产测试。

表10 SPI时序( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = 2.5\text{ V}$ ,  $V_{DD\ I/O} = 1.8\text{ V}$ )<sup>1</sup>

参数	限值 <sup>2, 3</sup>		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上升沿至 $\overline{CS}$ 上升沿
$t_{DIS}$		10	ns	$\overline{CS}$ 上升沿至SDO禁用
$t_{CS,DIS}$	150		ns	$\overline{CS}$ SPI通信失效
$t_S$	$0.3 \times t_{SCLK}$		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输出高电平至输出低电平转换
$t_F^4$		20	ns	SDO/SDIO输出低电平至输出高电平转换

<sup>1</sup> $\overline{CS}$ 、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。

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

<sup>3</sup>测得的时序值对应表9给出的输入阈值( $V_{IL}$ 和 $V_{IH}$ )。

<sup>4</sup>容性负载为150 pF时，测得的输出上升时间和下降时间。



I<sup>2</sup>C

如图39所示， $\overline{\text{CS}}$ 引脚拉高至 $V_{\text{DD}}$  I/O，ADXL345处于I<sup>2</sup>C模式，需要简单2线式连接。ADXL345符合《UM10204 I<sup>2</sup>C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40所示，支持单个或多个字节的读取/写入。ALT ADDRESS引脚处于高电平，器件的7位I2C地址是0x1D，随后为R/W位。这转化为0x3A写入，0x3B读取。通过ALT ADDRESS引脚(引脚12)接地，可以选择备用I2C地址0x53(随后为R/W位)。这转化为0xA6写入，0xA7读取。

对于任何不使用的引脚，没有内部上拉或下拉电阻，因此， $\overline{\text{CS}}$ 引脚或ALT ADDRESS引脚悬空或不连接时，任何已知状态或默认状态不存在。使用I<sup>2</sup>C时， $\overline{\text{CS}}$ 引脚必须连接至 $V_{\text{DD}}$  I/O，ALT ADDRESS引脚必须连接至任一 $V_{\text{DD}}$  I/O或接地。

由于通信速度限制，使用400 kHz I<sup>2</sup>C时，最大输出数据速率为800 Hz，与I<sup>2</sup>C通信速度按比例呈线性变化。例如，使用100 kHz I<sup>2</sup>C时，ODR最大限值为200 Hz。以高于推荐的

最大值和最小值范围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。

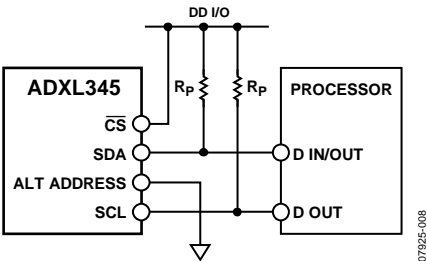


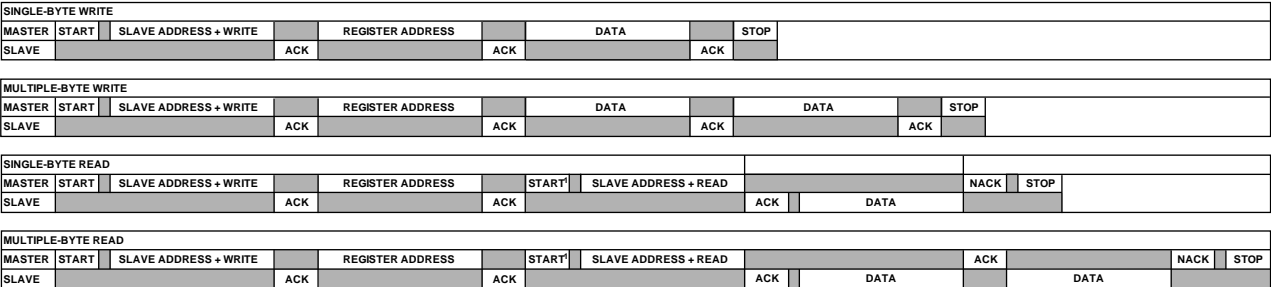
图39. I<sup>2</sup>C连接图（地址0x53）

如果有其他器件连接到同一I<sup>2</sup>C总线，这些器件的额定工作电压电平不能高于 $V_{\text{DD}}$  I/O 0.3V以上。I<sup>2</sup>C正确操作需要外接上拉电阻RP。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 I<sup>2</sup>C数字输入/输出

参数	数测试条件	限值 <sup>1</sup>		单位
		最小值	最大值	
数字输入				
低电平输入电压( $V_{\text{IL}}$ )			$0.3 \times V_{\text{DD I/O}}$	V
高电平输入电压( $V_{\text{IH}}$ )		$0.7 \times V_{\text{DD I/O}}$		V
低电平输入电流( $I_{\text{IL}}$ )	$V_{\text{IN}} = V_{\text{DD I/O}}$		0.1	$\mu\text{A}$
高电平输入电流( $I_{\text{IH}}$ )	$V_{\text{IN}} = 0\text{ V}$	-0.1		$\mu\text{A}$
数字输出				
低电平输出电压( $V_{\text{OL}}$ )	$V_{\text{DD I/O}} < 2\text{ V}, I_{\text{OL}} = 3\text{ mA}$ $V_{\text{DD I/O}} \geq 2\text{ V}, I_{\text{OL}} = 3\text{ mA}$		$0.2 \times V_{\text{DD I/O}}$	V
低电平输出电流( $I_{\text{OL}}$ )	$V_{\text{OL}} = V_{\text{OL, max}}$	3	400	mV
引脚电容	$f_{\text{IN}} = 1\text{ MHz}, V_{\text{IN}} = 2.5\text{ V}$		8	pF

<sup>1</sup> 限值基于特性数据，未经生产测试。



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40. I<sup>2</sup>C器件寻址

# ADXL345

表12 I<sup>2</sup>C时序 (T<sub>A</sub> = 25°C, V<sub>S</sub> = 2.5 V, V<sub>DD I/O</sub> = 1.8 V)

参数	限值 <sup>1, 2</sup>		单位	描述
	参数	最大值		
f <sub>SCL</sub>		400	kHz	SCL时钟频率
t <sub>1</sub>	2.5		μs	SCL周期时间
t <sub>2</sub>	0.6		μs	t <sub>HIGH</sub> SCL高电平时间
t <sub>3</sub>	1.3		μs	t <sub>LOW</sub> SCL低电平时间
t <sub>4</sub>	0.6		μs	t <sub>HD</sub> STA, 起始/重复起始条件保持时间
t <sub>5</sub>	100		ns	t <sub>SU</sub> DAT, 数据建立时间
t <sub>6</sub> <sup>3, 4, 5, 6</sup>	0	0.9	μs	t <sub>HD</sub> DAT, 数据保持时间
t <sub>7</sub>	0.6		μs	t <sub>SU</sub> STA, 重复起始建立时间
t <sub>8</sub>	0.6		μs	t <sub>SU</sub> STO, 停止条件建立时间
t <sub>9</sub>	1.3		μs	t <sub>BUF</sub> 一个结束条件和起始条件之间的总线空闲时间
t <sub>10</sub>		300	ns	t <sub>RF</sub> 接收时SCL和SDA的上升时间
	0		ns	t <sub>RF</sub> 接收或传送时SCL和SDA的上升时间
t <sub>11</sub>		250	ns	t <sub>FF</sub> 接收时SDA的下降时间
		300	ns	t <sub>FF</sub> 传送时SCL和SDA的下降时间
	20 + 0.1 C <sub>b</sub> <sup>7</sup>		ns	t <sub>FF</sub> 传送或接收时SCL和SDA的下降时间
C <sub>b</sub>		400	pF	各条总线的容性负载

<sup>1</sup> 限值基于特性数据: f<sub>SCL</sub> = 400 kHz和3 mA吸电流, 未经生产测试。  
<sup>2</sup> 所有值均参考表11中的VIH和VIL电平值。  
<sup>3</sup> t<sub>6</sub>为SCL下降沿测得的数据保持时间。适用于传输和应答数据。  
<sup>4</sup> 发送器件必须为SDA信号(相对于SCL信号的V<sub>IH(min)</sub>)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。  
<sup>5</sup> 如果器件SCL信号的低电平周期(t<sub>3</sub>)没有延长, 则必须满足t<sub>6</sub>最大值。  
<sup>6</sup> t<sub>6</sub>最大值根据时钟低电平时间(t<sub>3</sub>)、时钟上升时间(t<sub>10</sub>)和最小数据建立时间(t<sub>5(min)</sub>)而定。该值计算公式为t<sub>6(max)</sub> = t<sub>3</sub> - t<sub>10</sub> - t<sub>5(min)</sub>。  
<sup>7</sup> C<sub>b</sub>是一条总线的总电容(单位: pF)。

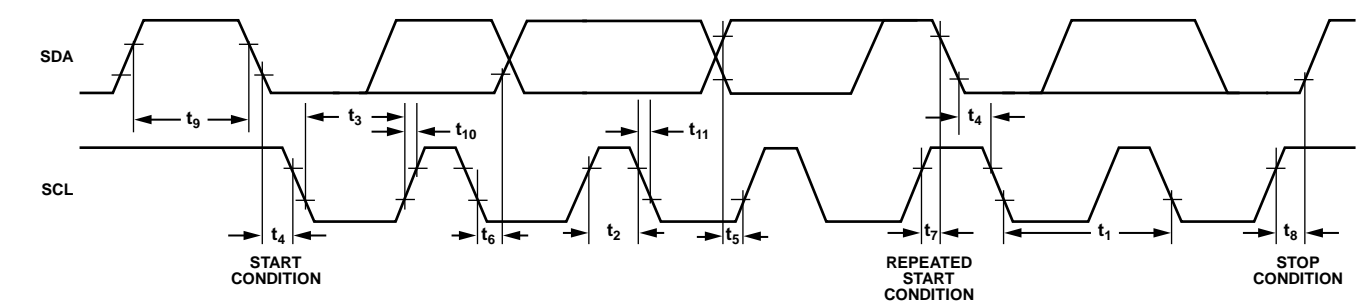


图41. I<sup>2</sup>C时序图

07925-034

## 中断

ADXL345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，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。

设置INT\_ENABLE寄存器(地址0x2E)的适当位，中断使能，映射到INT1引脚或INT2引脚，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，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

当有新的数据产生时，DATA\_READY中断置位；当没有新的数据时，DATA\_READY中断清除。

## SINGLE\_TAP

加速度值超过THRESH\_TAP寄存器(地址0x1D)值，并且持续时间小于DUR寄存器(地址0x21)规定的时间范围的时候，SINGLE\_TAP中断置位。

## DOUBLE\_TAP

两次加速度事件超过THRESH\_TAP寄存器(地址0x1D)值，并且持续时间小于DUR寄存器(地址0x21)规定的时间范围的时候，DOUBLE\_TAP中断置位。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(0x23)规定时间内。详情见敲击检测部分。

## Activity

加速度值大于THRESH\_ACT寄存器(地址0x24)存储值时，Activity(活动)中断置位，由任一轴参与，通过ACT\_INACT\_CTL寄存器(0x27)置位。

## Inactivity

加速度值小于THRESH\_INACT寄存器(地址0x25)的存储值时，Inactivity(静止)位置位，所有轴参与，多于TIME\_INACT寄存器(地址0x26)规定的时间，通过ACT\_INACT\_CTL寄存器(地址0x27)置位。TIME\_INACT最大值为255秒。

## FREE\_FALL

加速度值小于THRESH\_FF寄存器(地址0x28)的存储值时，FREE\_FALL置位，大于TIME\_FF寄存器(地址0x29)所有轴(逻辑与)所规定的时间。FREE\_FALL中断不同于静止中断，因为：所有轴始终参与，并为逻辑“和”的形式，定时器周期小得多(最大值：1.28秒)，始终为直流耦合操作模式。

## Watermark

FIFO样本数等于存储在样本位(FIFO\_CTL寄存器，地址0x38)的值时，Watermark(水印)位置位。读取FIFO时，水印位自动清零，返回至样本位存储值的更低值。

表13 中断引脚数字输出

参数	测试条件	限值 <sup>1</sup>		单位
		最小值	最大值	
数字输出				
低电平输出电压( $V_{OL}$ )	$I_{OL} = 300 \mu A$ $I_{OH} = -150 \mu A$ $V_{OL} = V_{OL, max}$ $V_{OH} = V_{OH, min}$ $f_{IN} = 1 \text{ MHz}, V_{IN} = 2.5 \text{ V}$	$0.8 \times V_{DD I/O}$ 300	$0.2 \times V_{DD I/O}$	V
高电平输出电压( $V_{OH}$ )				V
低电平输出电流( $I_{OL}$ )				$\mu A$
高电平输出电流( $I_{OH}$ )			-150	$\mu A$
引脚电容			8	pF
上升/下降时间				
上升时间( $t_R$ ) <sup>2</sup>	$C_{LOAD} = 150 \text{ pF}$		210	ns
下降时间( $t_F$ ) <sup>3</sup>	$C_{LOAD} = 150 \text{ pF}$		150	ns

<sup>1</sup> 限值基于特性数据，未经生产测试。

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

<sup>3</sup> 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

当有新采样点更新了未被读取的前次采样点时，Overrun中断置位。Overrun功能与FIFO的工作模式有关。当FIFO工作在Bypass模式下，如果有新采样点更新了DATA\_X、DATA\_Y和DATA\_Z寄存器(地址0x32至0x37)里的数值，则Overrun中断置位。在其他模式下，只有FIFO被存满时，Overrun中断才会置位。读取FIFO内容时，Overrun位自动清零。

## FIFO

ADXL345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。缓冲分四种模式：旁路模式、FIFO模式、流模式和触发器模式(参见FIFO模式)。在FIFO\_CTL寄存器(地址0x38)内设置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，因此，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中的采样数与FIFO\_CTL寄存器(地址0x38)采样数位规定的数量相等时，水印中断置位。FIFO继续收集样本，直到填满(x、y和z轴测量的32位样本)，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填满时，敲击检测等功能可以使用。水印中断继续发生，直到FIFO样本数少于FIFO\_CTL寄存器的样本位存储值。

## 流模式

在流模式下，x、y、z轴的测量数据存储在FIFO中。当FIFO中的采样数与FIFO\_CTL寄存器(地址0x38)采样数位规定的数量相等时，水印中断置位。FIFO继续收集样本，保存从x、y和z轴收集的最近32位样本。新数据更新后，丢弃旧数据。水印中断继续发生，直到FIFO样本数少于FIFO\_CTL寄存器的样本位存储值。

## 触发器模式

触发器模式下，FIFO收集样本，保存从x、y和z轴收集的最近32位样本。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个样本(其中n为FIFO\_CTL寄存器样本位规定值)，然后在FIFO模式下运行，只有FIFO没有填满时，才会收集新样本。从触发事件发生到开始从FIFO读取数据，至少有5  $\mu$ s延迟，允许FIFO丢弃和保留必要样本。触发器模式复位后，才能识别附加触发事件。要复位触发器模式，设置器件为旁路模式，然后再设置回触发器模式。请注意，应首先读取FIFO数据，因为器件旁路模式下，FIFO清零。

## 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、流模式或触发器模式时，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样本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  $\mu$ s延迟。从寄存器0x37至寄存器0x38的转变或 $\overline{CS}$ 引脚变为高电平为标志，读取数据寄存器结束。

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，有必要拉高 $\overline{CS}$ 引脚确保5  $\mu$ s的总延迟；否则，延迟会不充分。5 MHz操作的必要总延迟最多为3.4  $\mu$ s。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读取的充分延迟。

## 自测

ADXL345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。因为静电力与 $V_s^2$ 成正比，所以输出随着 $V_s$ 而变化。该效应如图42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。ADXL345的自测功能也表现为双模行为。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100Hz或在1600Hz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，器件必须为正常功率运行(BW\_RATE寄存器的(地址0x2C)LOW\_POWER位=0)，通过800Hz或3200Hz，置于100Hz的数据速率，以便自测功能正常运行。

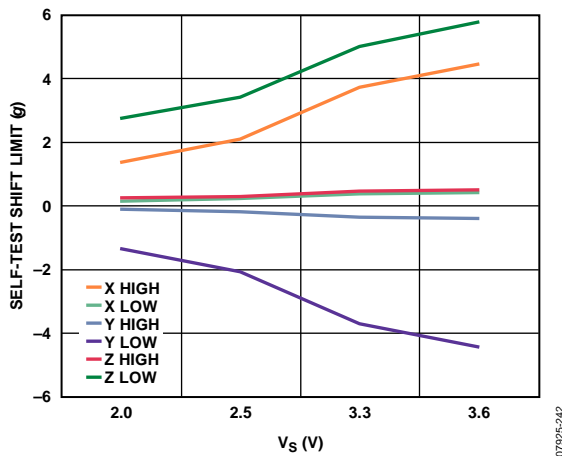


图42.自测输出变化限值与供电电压的关系

表14 自测输出与不同电源电压 $V_s$ 的比例因子

电源电压 $V_s$ (V)	X轴, Y轴	Z轴
2.00	0.64	0.8
2.50	1.00	1.00
3.30	1.77	1.47
3.60	2.11	1.69

表15  $\pm 2g$ 的自测输出(LSB)，10位或全分辨率  
( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_s = 2.5\text{ V}$ ,  $V_{DD I/O} = 1.8\text{ V}$ )

轴	最小值	最大值	单位
X	50	540	LSB
Y	-540	-540	LSB
Z	75	875	LSB

表16  $\pm 4g$ 的自测输出(LSB)，10位分辨率  
( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_s = 2.5\text{ V}$ ,  $V_{DD I/O} = 1.8\text{ V}$ )

轴	最小值	最大值	单位
X	25	270	LSB
Y	-270	-25	LSB
Z	38	438	LSB

表17  $\pm 8g$ 的自测输出(LSB)，10位分辨率  
( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_s = 2.5\text{ V}$ ,  $V_{DD I/O} = 1.8\text{ V}$ )

轴	最小值	最大值	单位
X	12	135	LSB
Y	-135	-12	LSB
Z	19	219	LSB

表18  $\pm 16g$ 的自测输出 (LSB)，10位分辨率  
( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_s = 2.5\text{ V}$ ,  $V_{DD I/O} = 1.8\text{ V}$ )

轴	最小值	最大值	单位
X	6	67	LSB
Y	-67	-6	LSB
Z	10	110	LSB

## 寄存器映射

表19

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 to 0x1C	1 to 28	保留			
0x1D	29	THRESH_TAP	R/ $\overline{W}$	00000000	保留，不要操作
0x1E	30	OFSX	R/ $\overline{W}$	00000000	敲击阈值
0x1F	31	OFSY	R/ $\overline{W}$	00000000	X轴偏移
0x20	32	OFSZ	R/ $\overline{W}$	00000000	Y轴偏移
0x21	33	DUR	R/ $\overline{W}$	00000000	Z轴偏移
0x22	34	Latent	R/ $\overline{W}$	00000000	敲击持续时间
0x23	35	Window	R/ $\overline{W}$	00000000	敲击延迟
0x24	36	THRESH_ACT	R/ $\overline{W}$	00000000	敲击窗口
0x25	37	THRESH_INACT	R/ $\overline{W}$	00000000	活动阈值
0x26	38	TIME_INACT	R/ $\overline{W}$	00000000	静止阈值
0x27	39	ACT_INACT_CTL	R/ $\overline{W}$	00000000	静止时间
0x28	40	THRESH_FF	R/ $\overline{W}$	00000000	轴使能控制活动和静止检测
0x29	41	TIME_FF	R/ $\overline{W}$	00000000	自由落体阈值
0x2A	42	TAP_AXES	R/ $\overline{W}$	00000000	自由落体时间
0x2B	43	ACT_TAP_STATUS	R	00000000	单击/双击轴控制
0x2C	44	BW_RATE	R/ $\overline{W}$	00001010	单击/双击源
0x2D	45	POWER_CTL	R/ $\overline{W}$	00000000	数据速率及功率模式控制
0x2E	46	INT_ENABLE	R/ $\overline{W}$	00000000	省电特性控制
0x2F	47	INT_MAP	R/ $\overline{W}$	00000000	中断使能控制
0x30	48	INT_SOURCE	R	00000010	中断映射控制
0x31	49	DATA_FORMAT	R/ $\overline{W}$	00000000	中断源
0x32	50	DATA0	R	00000000	数据格式控制
0x33	51	DATA1	R	00000000	X轴数据0
0x34	52	DATAY0	R	00000000	X轴数据1
0x35	53	DATAY1	R	00000000	Y轴数据0
0x36	54	DATAZ0	R	00000000	Y轴数据1
0x37	55	DATAZ1	R	00000000	Z轴数据0
0x38	56	FIFO_CTL	R/ $\overline{W}$	00000000	Z轴数据1
0x39	57	FIFO_STATUS	R	00000000	FIFO控制
					FIFO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	0	1

DEVID寄存器保存0xE5的固定器件ID代码(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的值进行比较，以便实现正常敲击检测。比例因子为62.5mg/LSB(即0xFF=16 g)。如果使能单击/双击中断，值为0可能会导致工作异常。

**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，结果值存储在输出数据寄存器。更多有关偏移校准和偏移寄存器的使用信息，请参考“偏移校准”部分。

**寄存器0x21—DUR(读/写)**

DUR为8位寄存器，包含未签名时间值，表示必须是THRESH\_TAP阈值之上的事件才能称之为敲击事件的最大时间。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。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，包含未签名的时间值，表示延迟时间(由Latent寄存器确定)期满后时间量，在此期间，能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，保存检测活动的阈值。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时，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，保存检测静止的阈值。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时，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，包含未签名时间值，表示加速度的时间量必须小于THRESH\_INACT寄存器的值，以宣布静止。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，该静止功能采用滤波输出数据。为要触发的静止中断，必须生成至少一个输出样本。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交流/直流	ACT_X使能	ACT_Y使能	ACT_Z使能
D3	D2	D1	D0
INACT交流/直流	INACT_X使能	INACT_Y使能	INACT_Z使能

**ACT交流/直流位与INACT交流/直流位**

设置为0时，选择直流耦合操作，设置为1时，使能交流耦合操作。在直流耦合工作模式下，将当前加速度值直接与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，如果差值大小超过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与THRESH\_INACT进行比较。如果差值低于THRESH\_INACT的TIME\_INACT的值，则认为器件处于静止状态，并触发静止中断。

# ADXL345

## ACT\_x使能位和INACT\_x使能位

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。静止检测时，所有参与轴为逻辑“和”，只有当在特定时间所有参与轴低于阈值时，静止功能触发。

## 寄存器0x28—THRESH\_FF(读/写)

THRESH\_FF寄存器为8位寄存器，保存未签名格式的阈值，用于自由落体检测。所有轴的加速度与THRESH\_FF的值相比较，以确定是否有自由落体事件发生。比例因子为62.5 mg/LSB。请注意，如果自由落体中断被使能，值为0 mg可能导致工作异常。建议采用300 mg与600 mg(0x05至0x09)之间的值。

## 寄存器0x29—TIME\_FF(读/写)

TIME\_FF寄存器为8位寄存器，存储未签名值，表示所有轴的值必须小于THRESH\_FF的最小时间，以生成自由落体中断。比例因子为5 ms/LSB。如果使能自由落体中断，值为0时，可能导致工作异常。建议采用100 ms与350 ms (0x14至0x46)之间的值。

## 寄存器0x2A—TAP\_AXES(读/写)

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	抑制	TAP_X使能	TAP_Y使能	TAP_Z

## 抑制位

如果两次敲击之间出现大于THRESH\_TAP值的加速度，设置抑制位会抑制双击检测。详情见敲击检测部分。

## TAP\_x使能位

TAP\_X、TAP\_Y或TAP\_Z使能位设置为1时，使能x轴、y轴或z轴进行敲击检测。设置为0时，从敲击检测参与轴排除选定轴。

## 寄存器0x2B—ACT\_TAP\_STATUS(只读)

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	ACT_X来源	ACT_Y来源	ACT_Z来源	休眠	TAP_X来源	TAP_Y来源	TAP_Z来源

## ACT\_x来源位和TAP\_x来源位

这些位表示涉及敲击或活动事件的第一轴。设置为1时，对应事件参与，设置为0时，对应未参与。新数据可用时，这些位不会清零，但新数据会覆盖这些位。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，禁用参与轴，相应来源位清零。

## 休眠位

休眠位设置为1，表示器件为休眠状态，设置为0表示为非休眠状态。只有器件配置为自动休眠时，可切换此位。有关自动休眠模式的更多详情，请查看AUTO\_SLEEP位部分。

## 寄存器0x2C—BW\_RATE(读/写)

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

## LOW\_POWER位

LOW\_POWER位设置为0，选择正常操作，设置为1，选择低功率操作，而此时噪声有所增加(详情见功率模式部分)。

## 速率位

这些位能选择器件带宽和输出数据速率(详情见表7和表8)。默认值为0x0A，转换为100Hz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。选择太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	链接	AUTO_SLEEP	测量	休眠	唤醒	

## 链接位

将有使能活动和静止功能的链接位设置为1，延迟活动功能开始，直到检测到静止。检测到活动后，静止检测开始，活动检测停止。该位串行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。其他信息见链接模式部分。

链接位清零后，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休眠模式，该器件适当偏置，否则，链接位后的前几个数据样本清零后，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

设置链接位，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，ADXL345自动切换到休眠模式(即至少在TIME\_INACT规定时间里，加速度值低于THRESH\_INACT值)。如果活动功能也使能，ADXL345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位设置为0，禁用自动切换至休眠模式。有关休眠模式的更多详情，参见休眠位部分。



如果链接位未设置，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，请参考链接位或链接模式部分。

AUTO\_SLEEP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，AUTO\_SLEEP位后的前几个数据样本清零后，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。

### 测量位

测量位设置为0，将器件置于待机模式，设置为1，置于测量模式。ADXL345待机模式下，以最小功耗上电。

### 休眠位

休眠位设置为0，将器件置于普通工作模式，设置为1，置于休眠模式。休眠模式抑制DATA\_READY，停止对FIFO的数据传输，切换至唤醒位规定的采样速率。休眠模式下，只有活动功能可以使用。当DATA\_READY中断被抑制，输出数据寄存器(寄存器0x32至寄存器0x37)仍然以唤醒位(D1: D0)设置的采样速率更新。

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样本清零后，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。

### 唤醒位

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)

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

寄存器设置位值为1，使能相应功能，生成中断，设置为0时，阻止这些功能产生中断。DATA\_READY位、水印位和溢出位仅使能中断输出；这些功能总是处于使能状态。建议使能其输出前进行中断配置。

### 寄存器0x2F—INT\_MAP (R/W)

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

寄存器任意位设置为0，发送各自中断到INT1引脚，设置为1，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)

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

寄存器位设置为1表示各自功能触发事件，值为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，总是设置DATA\_READY位、水印位和溢出位，并通过读取DATA\_X、DATA\_Y和DATA\_Z寄存器将数据清零。如FIFO部分FIFO模式所述，DATA\_READY和水印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)

<b>D7</b>	<b>D6</b>	<b>D5</b>	<b>D4</b>	<b>D3</b>	<b>D2</b>	<b>D1</b>	<b>D0</b>
SELF_TEST	SPI	INT_INVERT	0	FULL_RES	Justify	Range	

DATA\_FORMAT寄存器通过寄存器0x37控制寄存器0x32的数据显示。除±16 g范围以外的所有数据必须剪除，避免翻覆。

### SELF\_TEST位

SELF\_TEST位设置为1，自测力应用至传感器，造成输出数据转换。值为0时，禁用自测力。

### SPI位

SPI位值为1，设置器件为3线式SPI模式，值为0，则设置为4线式SPI模式。

# ADXL345

## INT\_INVERT位

INT\_INVERT位值为0，设置中断至高电平有效，值为1，则设置至低电平有效。

## FULL\_RES位

当此位值设置为1，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，范围位决定最大g范围和比例因子。

## 对齐位

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

## 范围位

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	$\pm 2 g$
0	1	$\pm 4 g$
1	0	$\pm 8 g$
1	1	$\pm 16 g$

## 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)都为8位字节，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		触发器	样本				

## 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为旁路模式。
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	触发器	通过触发位触发时，FIFO在触发事件前保存最后的数据样本，然后继续收集数据，直到填满。FIFO填满后，不再收集新的数据。

## 触发位

触发位值为0，链接触发器模式下的触发事件至INT1，值为1，则链接至INT2。

## 样本位

这些位的功能取决于选定的FIFO模式(见表23)。样本位设置值为0时，不管选择哪种FIFO模式，立即在INT\_SOURCE寄存器设置水印状态位。触发器模式下，如果样本位值为0，可能会出现工作异常。

表23 样本位功能

FIFO模式	样本位功能
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。
触发器	指定触发事件之前在FIFO缓冲区要保留的FIFO样本数。

## 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表示无FIFO触发事件发生。

## 条目位

这些位报告FIFO存储的数据值的数量。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存储最多32项条目，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

建议将 $V_S$ 下 $1\mu\text{F}$ 的钽电容( $C_S$ )和 $V_{DD\ I/O}$ 下 $0.1\mu\text{F}$ 的陶瓷电容( $C_{I/O}$ )置于ADXL345电源引脚附近,以便对加速度计充分去耦,消除电源噪声。如果需要附加去耦,不大于 $100\Omega$ 的电阻或铁氧体磁珠与 $V_S$ 串联,可能会起作用。此外,在 $V_S$ 上增加旁路电容至 $10\mu\text{F}$ 的钽电容,并联 $0.1\mu\text{F}$ 的陶瓷电容,也可以改善噪声。

应当注意,要确保从ADXL345接地端连接至电源接地端具有低阻抗,因为通过地面的噪声与 $V_S$ 传播的噪声具有类似效果。建议单独施加 $V_S$ 和 $V_{DD\ I/O}$ ,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,可能需要附加电源过滤。

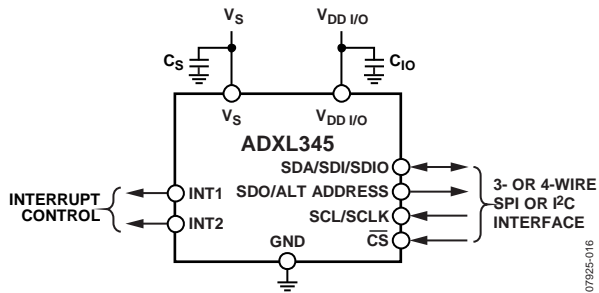


图43.应用图

### 机械安装注意事项

ADXL345应安装在机箱PCB牢固安装点附近位置。如图44所示,如将ADXL345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。

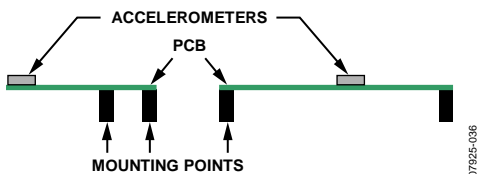


图44.错误放置的加速度计

### 敲击检测

敲击中断功能能够进行单击或双击检测。如图45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时间窗口开始,第二次敲击检测到的等待期间,由Window寄存器(地址0x23)的值决定。
- 延迟时间(由latent寄存器设置)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。

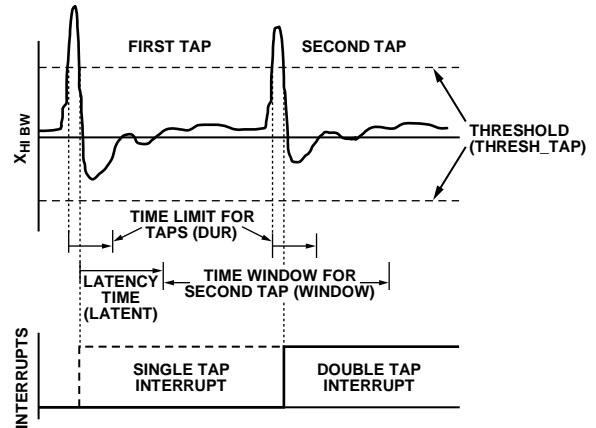


图45.有效单击和双击的敲击中断功能

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

几次事件发生后，双击事件的第二次敲击失效。首先，如果TAP\_AXES寄存器(地址0x2A)的抑制位设置，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使双击检测失效，如图46所示。

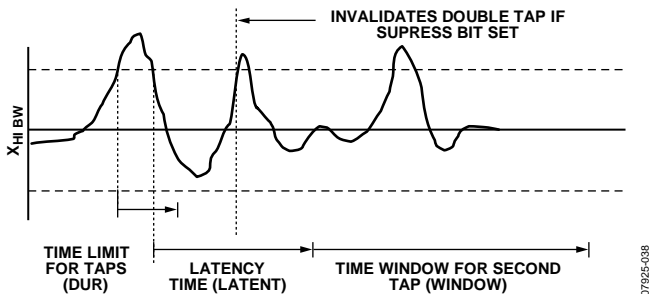


图46.抑制位设置时由于高g事件双击事件失效

如果第二次敲击(由latent寄存器设置)的时间窗口开始时，检测到加速度在阈值以上，双击事件也失效。如图47所示，这将导致窗口开始时的无效双击。此外，如果加速度超过敲击的时间限制(由DUR寄存器设置)，双击事件可能失效，导致第二次敲击事件的DUR时间限制结束时双击失效，同样如图47所示。

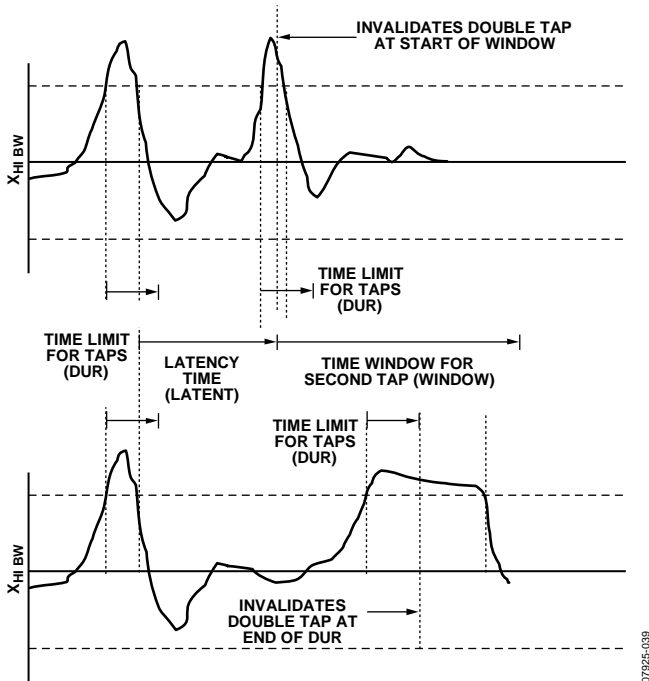


图47.无效双击的敲击中断功能

设置INT\_ENABLE寄存器(地址0x2E)的各自位，能检测单击、双击或两者都能检测到。设置TAP\_AXES寄存器(地址0x2A)的相应位，激活对单击/双击进行检测的任意一个参与轴的控制。要进行双击功能操作，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。一般来说，最初设置为：DUR寄存器的值大于0x10(10ms)，latent寄存器的值大于0x10(20ms)，window寄存器的值大于0x40(80ms)和THRESH\_TAP寄存器的值大于0x30(3g)。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，因为会拾取加速度计敲击输入的回声。

接收敲击中断后，超过THRESH\_TAP水平的第一轴在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，达到较低的输出数据速率。使用非抽取数据，执行活动功能、自由落体功能、和无改善敲击使能的单击/双击功能的检测。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，如果检查到加速度计输出，用于确定活动、自由落体和单击/双击事件的高频率和高g数据可能不会出现。当加速度数据似乎没有满足用户设置的相应功能的条件时，这可能会导致功能触发。

## 链接模式

链接位的功能是减少活动中断的数量，必须通过设置器件仅在静止之后查找活动使处理器工作。为正常运行该功能，通过读取INT\_SOURCE寄存器(地址0x30)，处理器必须仍然响应活动和静止中断，从而清零中断。如果活动中断不清零，器件不能进入自动休眠模式。ACT\_TAP\_STATUS寄存器(地址0x2B)的休眠位表示器件是否处于休眠状态。



## 休眠模式与低功耗模式

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。使用低功耗模式保存DATA\_READY中断和FIFO功能, 以便加速度数据的后处理。休眠模式提供低数据速率和功耗时, 并不进行数据采集。

但是, 当休眠模式与AUTO\_SLEEP模式和链接模式一起使用时, 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。为了防止产生多余静止中断, 静止中断自动禁用, 活动使能。ADXL345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, 以节省大量的系统电源。检测到活动时, 加速度计自动切换回应用的原始数据速率, 并提供活动中断, 可用于唤醒主机处理器。同样, 活动事件检测禁用时, 静止事件检测使能。

## 偏移校准

加速度计为机械结构, 包含可以自由移动的元件。这些运动部件对机械应力非常灵敏, 程度远远超过固态电子产品。0g偏置或偏移为重要加速度计指标, 因为它定义了用于测量加速度的基线。组装载有加速度计的系统时, 可施加附加应力。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的任何混合物的应用。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ADXL345灵敏度如表1所列, 简单的校验方法是测量偏移。使用内置偏移寄存器, 可以自动记录偏移量。从而, DATA寄存器收集的数据已补偿偏移。

在无调头或单点校准方案中, 器件调整为: 一个轴通常为z轴在1g重力场, 其余轴, 通常是x和y轴在0g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, 但建议100Hz或更高数据率的起点为0.1sec。这相当于100Hz的数据速率10个样本。对于低于100Hz的数据速率, 建议平均至少有10个样本。x和y轴上0g测量和Z轴的1g测量的值分别存储为 $X_{0g}$ 、 $Y_{0g}$ 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, 无调头或单点校准方案假定为z轴的理想灵敏度SZ。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), ADXL345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, 为自动添加到所有测得的加速度值, 其结果随后置入到DATA寄存器。因为置于偏移寄存器的值为附加值, 负值置于寄存器, 消除正偏移, 相反则消除负偏移。该寄存器比例因子为15.6 mg/LSB, 与选定的g范围无关。

举例来说, 假设ADXL345置于全分辨率模式, 灵敏度典型值为256 LSB/g。器件调整为: 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。由于偏移寄存器为附加寄存器, 0g值被否定, 并四舍五入至最接近偏移寄存器的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。正如ADXL345的所有寄存器, 当器件电源移除后, 偏移寄存器不保留写入值。重新启动ADXL345, 返回偏移寄存器, 进入默认值0x00。

由于无调头或单点校准方法假定z轴为理想灵敏度, 任何灵敏度误差都会导致偏移误差。举例来说, 如果前面例子中实际灵敏度为250 LSB/g, 偏移量应该为15LSB, 而非9LSB。为了帮助减少这种误差, 0g场的z轴可以使用额外测量点,  $Z_{ACTUAL}$ 公式可适用于0g测量。

## 使用自测

自测变化定义为自测使能轴的加速度输出与自测禁用的同一轴的加速度输出之间的差异(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。

准确的自测测量需要ADXL345正确配置。器件应设置成大于或等于100Hz的数据速率。这样做是为了确保大于或等于0x0A的值写入BW\_RATE寄存器(地址0x2C)的速率位(位D0至位D3)。器件也必须置于正常功率运行, 通过确保BW\_RATE寄存器的LOW\_POWER位清零(LOW\_POWER位= 0), 以启动自测测量。建议将器件设置为全分辨率16g模式, 以确保自测移位有足够的动态范围。通过设置DATA\_FORMAT寄存器(地址0x31)的位D3, 将值0x03写入DATA\_FORMAT寄存器(地址0x31)的范围位(位D1和位D0)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。

为进行准确自测测量配置器件后, 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, 但建议100Hz或更高数据率的起点为0.1sec。这相当于100Hz的数据速率10个样本。对于低于100Hz的数据速率, 建议平均至少有10个样本。平均值应适当储存并标记为自测禁用数据, 即 $X_{ST\_OFF}$ 、 $Y_{ST\_OFF}$ 和 $Z_{ST\_OFF}$ 。

然后, 应设置DATA\_FORMAT寄存器(地址0x31)的位D7(SELF\_TEST), 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, 应采用x轴、y轴和z轴加速度数据的多个样本并取平均值。建议同之前的一样, 为取平均值采用相同数量的样本。平均值应再次适当储存并标记为自测使能数据, 即 $X_{ST\_ON}$ 、 $Y_{ST\_ON}$ 和 $Z_{ST\_ON}$ 。然后, 通过清零DATA\_FORMAT寄存器(地址0x31)的位D7(SELF\_TEST), 禁用自测。

运用自测使能和禁用的存储值, 自测变化如下:

$$X_{ST} = X_{ST\_ON} - X_{ST\_OFF}$$

$$Y_{ST} = Y_{ST\_ON} - Y_{ST\_OFF}$$

$$Z_{ST} = Z_{ST\_ON} - Z_{ST\_OFF}$$

由于各轴的测量输出表示为LSB, 同样,  $X_{ST}$ 、 $Y_{ST}$ 和 $Z_{ST}$ 也表示为LSB。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, 用3.9 mg/LSB的比例因子乘以每个值。此外, 表15至表18对应于自测范围, 转换为LSB, 当以2.5V的 $V_s$ 运行时, 可与测得的自测变化比较。其他电压下, 最低和最高自测输出值应以(乘以)表14所示的比例因子进行调整。如果器件置于 $\pm 2$  g, 10位或全分辨率模式下, 应使用如表15列出的值。虽然可使用固定10位模式或16 g以外的范围, 如表16至表18所示, 可能需要使用一组不同的值。使用低于8g范围可能会导致动态范围不充分, 选择自测测量的操作范围时, 应予以考虑。

如果自测在有效范围内变化, 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。然而, 变化大于最大幅度的器件不一定有故障。

高位数据速率的数据格式化

3200Hz和1600Hz的输出数据速率下的数据格式化，其变化取决于工作模式(全分辨率或固定为10位分辨率)以及选定的输出范围。

在全分辨率或±2g，10位分辨率模式下，采用3200Hz或1600Hz的输出数据速率，输出数据字的LSB值为0。数据右对齐时，对应于DATAx0寄存器的位D0，如图48所示。数据左对齐时，器件±2g，10位分辨率模式下运行，输出数据字的LSB为DATAx0寄存器的位D6。数据左对齐时，全分辨率模式下，LSB位置根据选定的输出范围而变化。

±2g范围内，LSB为DATAx0寄存器的位D6；±4g范围内，为DATAx0的位D5；±8g范围内，为DATAx0寄存器的位D4；±16g范围内，为DATAx0寄存器的位D3。这如图49所示。

±4g、±8g和±16g输出范围内，在固定10位分辨率操作下，采用3200Hz和1600Hz的输出数据速率，能提供有效的LSB，且LSB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或更低的数据速率运行，也能提供所有范围内和模式中的有效值，且随着应用的加速度而变化。

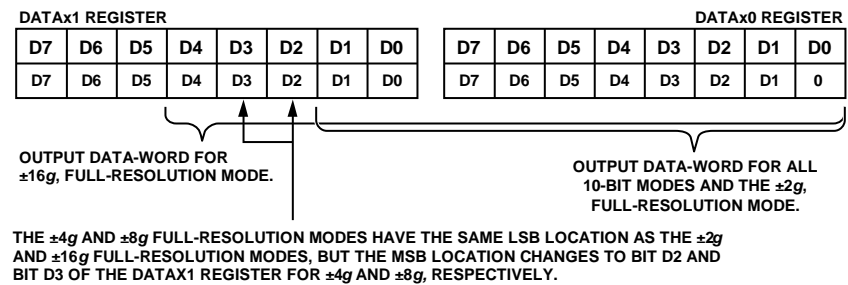


图48.输出数据右对齐时，全分辨率和±2 g，10位分辨率工作模式下的数据格式化

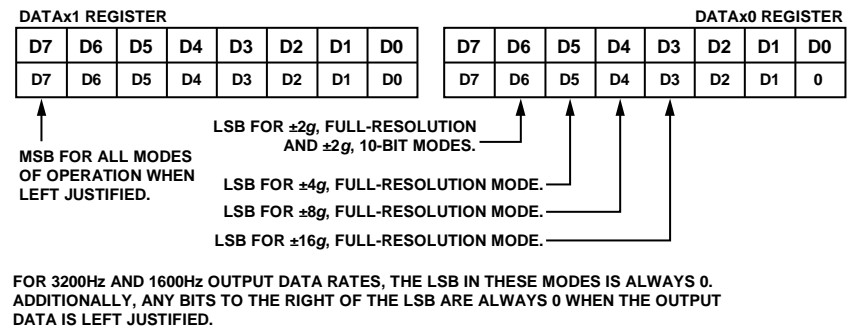


图49.输出数据左对齐时，全分辨率和±2 g，10位分辨率工作模式下的数据格式化

# ADXL345

## 噪声性能

如表1所述的噪声规格对应于ADXL345正常功耗模式，100Hz的输出数据速率(BW\_RATE寄存器，地址0x2C，LOW\_POWER(D4)位=0，速率位(D3:D0)= 0xA)下的典型噪声性能。低于100Hz的数据速率下的正常功耗操作中，ADXL345的噪声等同于LSB在100Hz输出数据速率下所产生的噪声。大于100Hz的数据速率下，噪声大致以 $\sqrt{2}$ 系数的数据速率的增加。例如，在400Hz的输出数据速率下，x轴和y轴的典型噪声小于1.5 LSB rms，z轴的典型噪声小于2.2 LSB rms。

低功耗操作(BW\_RATE寄存器，地址0x2C，LOW\_POWER位(D4) = 1)时，任何有效数据速率下，ADXL345的噪声为常数，如表8所示。x轴和y轴的典型值为小于1.8 LSB rms，z轴的典型值为小于2.6 LSB rms。

图50为ADXL345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51显示了ADXL345的典型艾伦偏差。如图，该器件的1/f转折频率很低，允许大约100  $\mu\text{g}$ 的绝对分辨率(假定存在足够积分时间)。图51也显示了x轴和y轴的噪声密度为290  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，z轴为430  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

图52显示ADXL345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 $V_s=2.5\text{V}$ 。通常，噪声随着电源电压的增加而降低。应注意，如图50所示，z轴的噪声一般高于x轴和y轴；因此，随着电源电压的变化，噪声大致以同样的百分比变化时，z轴的变化幅度比x轴和y轴的变化幅度要大。

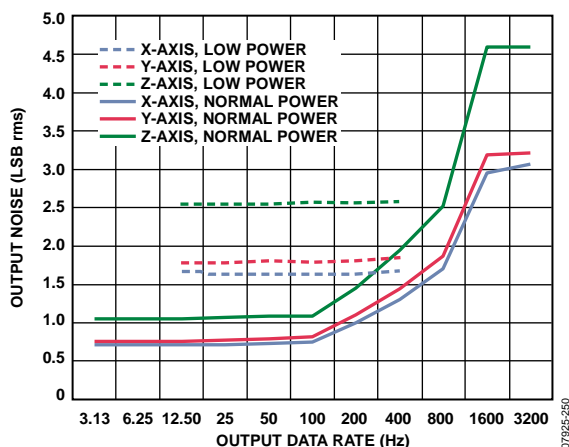


图50 正常功耗模式和低功耗模式下的噪声与输出数据速率的关系，全分辨率(256 LSB/g)

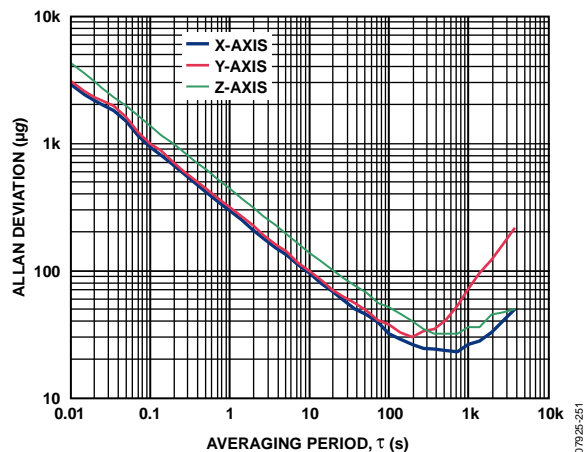


图51. 艾伦偏差

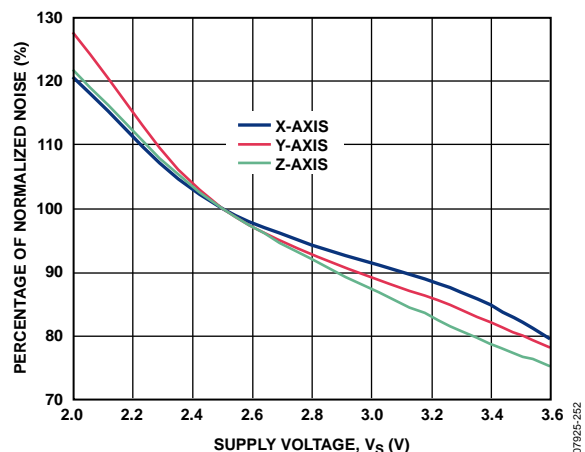


图52. 归一化的噪声与电源电压 $V_s$

## 非2.5V电压下的操作

ADXL345通过 $V_s = 2.5\text{V}$ 电源电压的测试且以其为额定电压；然而， $V_s$ 可高至3.6V或低至2.0V。下列性能参数随着电源电压变化而变化。偏移、灵敏度、噪声、自测和电源电流。

随着电源电压的改变，静电力也发生细微变化，因此，偏移和灵敏度也有细微变化。在电源电压 $V_s = 3.3\text{V}$ 下运行时，x轴和y轴偏移通常比 $V_s = 2.5\text{V}$ 运行时高25 mg。在电源电压3.3 V下运行与在 $V_s = 2.5\text{V}$ 时比较，z轴偏移一般低20 mg。 $V_s = 2.5\text{V}$ 时，x轴和y轴的灵敏度为标称256 LSB/g(全分辨率或 $\pm 2\text{g}$ ，10位运行)，而电源电压为3.3V时，其灵敏度转换为265 LSB/g。z轴灵敏度不受电源电压影响，2.5V时或3.3V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转换。



数据手册还讨论了噪声性能、自测响应和电源电流的变化。关于噪声性能，请查看噪声性能部分。“使用自测”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，及g值范围内自测响应对于不同LSB的转换。最后，图33显示了100Hz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

ADXL345提供不同范围的输出数据速率和带宽，为大范围应用而设计。但是，最低输出数据速率时，如低于6.25 Hz，在整个温度范围内偏移性能与其他数据速率时的性能明显不同。图53、图54和图55显示了ADXL345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100Hz输出数据速率下的偏移；因此，非零值对应于该数据速率下因温度变化的额外偏移移位。

当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移位。由于器件间的可变性，如果使用的是低于6.25Hz的数据速率，建议在整个温度范围内进行校准。

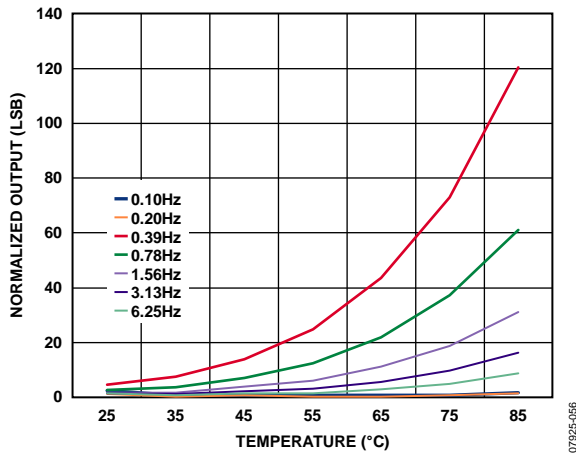


图53.低数据速率下典型X轴输出与温度的关系，归一化为100Hz输出数据速率，率 $V_s = 2.5\text{ V}$

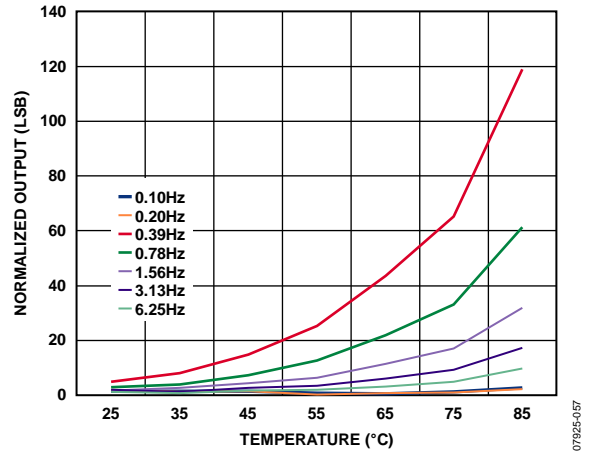


图54.低数据速率下典型Y轴输出与温度的关系，归一化为100Hz输出数据速率，率 $V_s = 2.5\text{ V}$

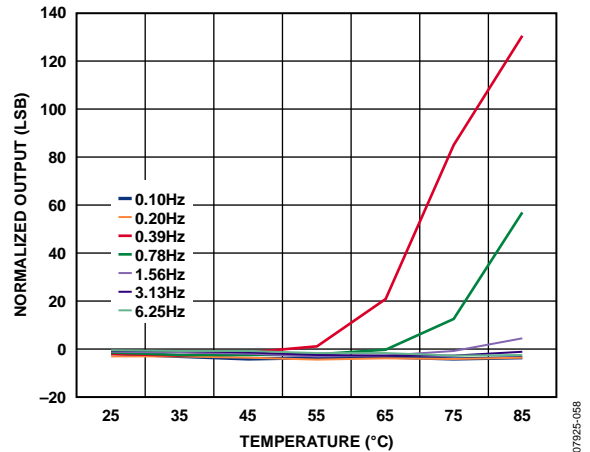


图55.低数据速率下典型Z轴输出与温度的关系，归一化为100Hz输出数据速率，率 $V_s = 2.5\text{ V}$

## 加速度灵敏度轴

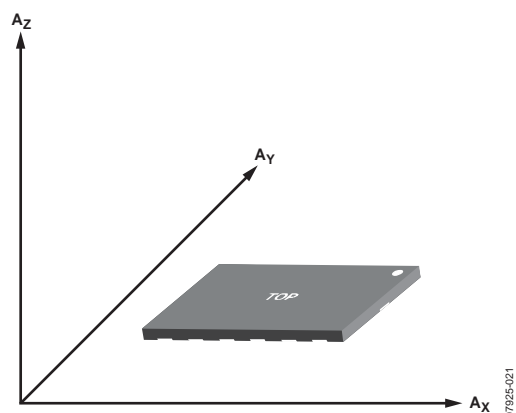


图56.加速度灵敏度轴(沿敏感轴加速时相应输出电压增加)

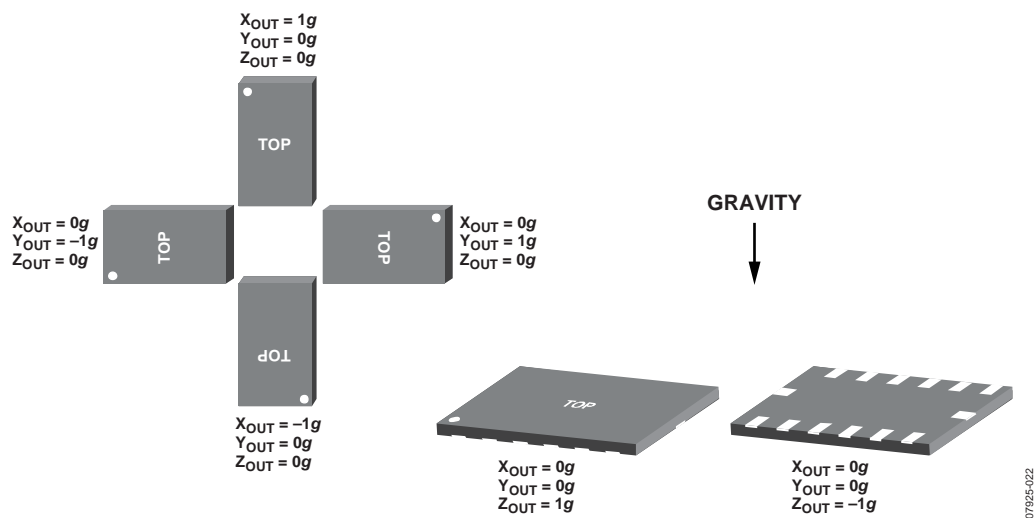


图57.输出响应与相对于重力的方向的关系

布局和设计建议

图58给出了推荐的印刷电路板和模式。图59和表24提供推荐的焊接外形细节。

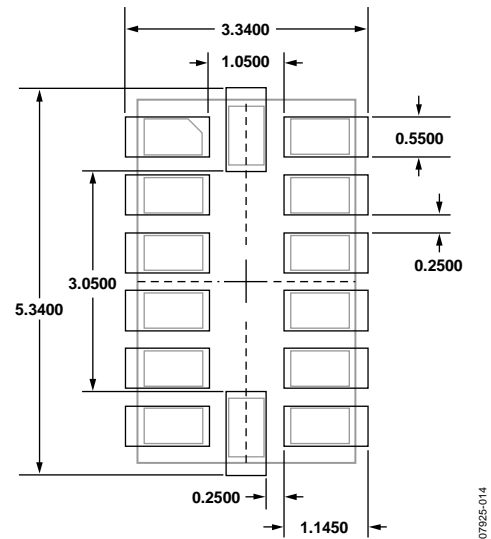


图58. 推荐的印刷电路板和模式(尺寸以毫米为单位)

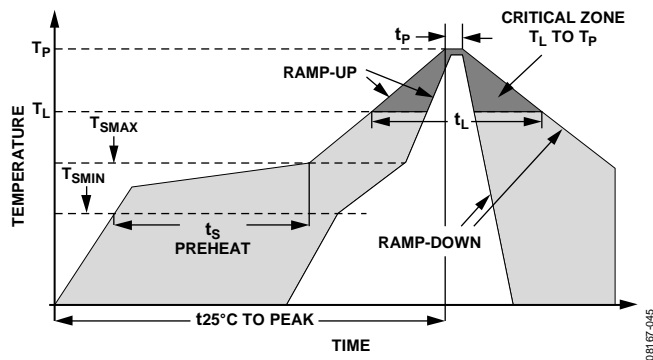


图59. 推荐的焊接外形

表24 推荐的焊接外形<sup>1,2</sup>

外形特征	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℃/秒(最大值)	3℃/秒(最大值)
预热		
最低温度( $T_{SMIN}$ )	100℃	150℃
最高温度( $T_{SMAX}$ )	150℃	200℃
时间( $T_{SMIN}$ 至 $T_{SMAX}$ )( $t_s$ )	60秒至120秒	60秒至180秒
$T_{SMAX}$ 至 $T_L$ 上斜坡速率	3℃/秒(最大值)	3℃/秒(最大值)
液态温度( $T_L$ )	183℃	217℃
$T_L$ 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℃	260 + 0/-5℃
实际 $T_P$ - 5℃时间( $t_p$ )	10秒至30秒	20秒至40秒
下降斜坡速率	6℃/秒(最大值)	6℃/秒(最大值)
从25℃至峰值温度的时间	6分钟(最大值)	8分钟(最大值)

<sup>1</sup> 基于JEDEC标准J-STD-020D.1。  
<sup>2</sup> 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。

# ADXL345

## 外形尺寸

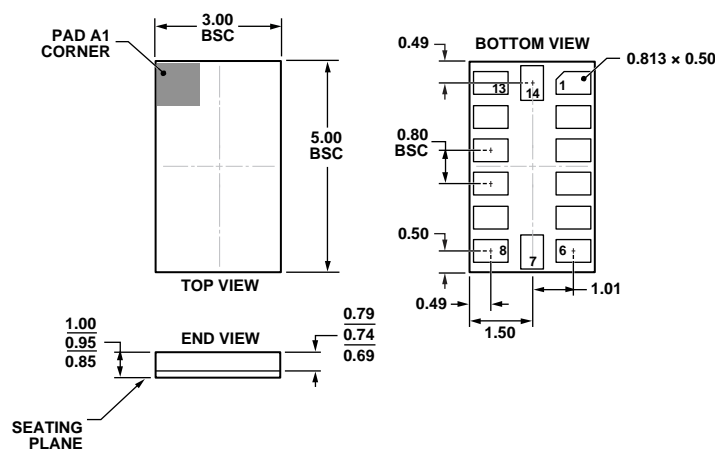


图60. 14引脚基板栅格阵列封装[LGA]

(CC-14-1)

焊接端子为镍上镀金

尺寸单位:mm

## 订购指南

型号 <sup>1</sup>	测量范围(g)	额定电压(V)	温度范围	封装描述	封装选项
ADXL345BCCZ	±2, ±4, ±8, ±16	2.5	-40°C至+85°C	14引脚基板栅格阵列封装	CC-14-1
ADXL345BCCZ-RL	±2, ±4, ±8, ±16	2.5	-40°C至+85°C	14引脚基板栅格阵列封装	CC-14-1
ADXL345BCCZ-RL7	±2, ±4, ±8, ±16	2.5	-40°C至+85°C	14引脚基板栅格阵列封装	CC-14-1
EVAL-ADXL345Z				评估板	
EVAL-ADXL345Z-M				ADI公司的惯性传感器评估系统， 包括ADXL345卫星导航	
EVAL-ADXL345Z-S				ADXL345卫星导航,独立器件	

<sup>1</sup> Z = 符合RoHS标准的兼容器件

Analog Devices offers specific products designated for automotive applications; please consult your local Analog Devices sales representative for details. Standard products sold by Analog Devices are not designed, intended, or approved for use in life support, implantable medical devices, transportation, nuclear, safety, or other equipment where malfunction of the product can reasonably be expected to result in personal injury, death, severe property damage, or severe environmental harm. Buyer uses or sells standard products for use in the above critical applications at Buyer's own risk and Buyer agrees to defend, indemnify, and hold harmless Analog Devices from any and all damages, claims, suits, or expenses resulting from such unintended use.

©2009—2010 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.  
D07925-0-4/10(A)



www.analog.com