

产品特性

三轴数字陀螺仪

测量范围: $\pm 100^\circ/\text{秒}$ (最小值)

运动中偏置稳定度: $8^\circ/\text{小时}$ (典型值)

X轴角向随机游动: $0.12^\circ/\sqrt{\text{小时}}$ (典型值)

三轴数字加速度计: $\pm 5 g$ (动态范围)

自治工作和数据采集

无需外部配置命令

快速启动时间

工厂校准的灵敏度、偏置和轴对准

校准温度范围: $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$

串行外设接口(SPI)数据通信

用于同步数据采集的数据就绪信号

集成温度传感器

可编程工作与控制

自动和手动偏置校正控制

Bartlett窗口有限脉冲响应(FIR)滤波器, 可变抽头数

外部时钟: 输入和输出选项

PPS/视频输入, 带一个计数器用来标记相对时间戳

单命令自测

单电源供电: 3.15 V至3.45 V

抗冲击能力: 2000 g

工作温度范围: -25°C 至 $+85^\circ\text{C}$

应用

智能农业/施工机械设备

无人机(UAV)/无人驾驶飞机、导航和有效载荷稳定

机器人技术

工厂/工业自动化人员/资产跟踪

概述

ADIS16460 iSensor®器件是一款完整的惯性系统, 内置一个三轴陀螺仪和一个三轴加速度计。ADIS16460中内置的每个传感器都实现了业界领先的iMEMS®技术与信号调理技术的完美结合, 可提供优化的动态性能。工厂校准针对各传感器的灵敏度、偏置和对准进行校准。因此, 各传感器均有其自己的动态补偿公式, 可提供精确的传感器测量。

与复杂且昂贵的分立设计方案相比, ADIS16460为精确的多轴惯性检测与工业系统的集成提供了简单而高效的方法。所有必需的运动测试及校准都是工厂生产过程的一部分, 大大缩短了系统集成时间。严格的正交对准可简化导航系统中的惯性坐标系对准。SPI和寄存器结构针对数据收集和配置控制提供简单的接口。

ADIS16460采用约为 $22.4 \text{ mm} \times 22.4 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ 的铝制模块封装, 配有14引脚连接器接口。

功能框图

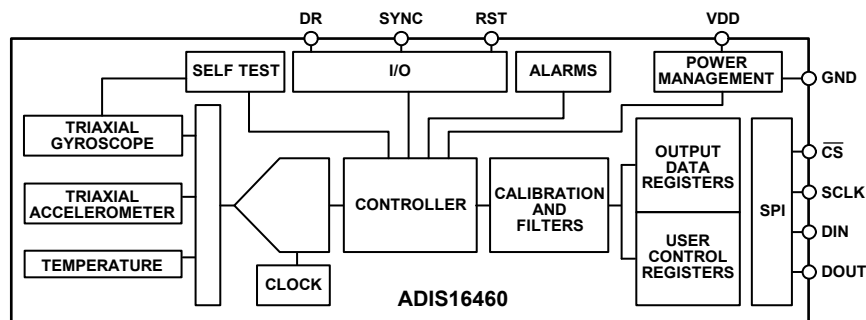


图1.

Rev. 0

Document Feedback

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

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 ©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
Technical Support www.analog.com

目录

产品特性.....	1	全局命令.....	19
应用.....	1	软件复位.....	19
概述.....	1	闪存测试.....	19
功能框图.....	1	手动闪存更新.....	19
修订历史.....	2	自动自测.....	19
技术规格.....	3	输入/输出配置.....	19
时序规格.....	5	数据就绪(DR)引脚配置.....	19
绝对最大额定值.....	6	SYNC引脚配置.....	20
ESD警告.....	6	数字处理配置.....	21
引脚配置和功能描述.....	7	陀螺仪/加速度计.....	21
典型性能参数.....	8	校准.....	22
工作原理.....	10	陀螺仪.....	22
读取传感器数据.....	10	加速度计.....	22
器件配置.....	11	恢复工厂校准.....	23
用户寄存器.....	12	应用信息.....	24
输出数据寄存器.....	13	安装技巧.....	24
旋转.....	13	电源考虑.....	24
加速度计.....	15	分线板.....	24
内部温度.....	17	基于PC的评估工具.....	25
产品标识.....	17	外形尺寸.....	26
状态/错误标志.....	17	订购指南.....	26
系统功能.....	19		

修订历史

2016年1月—修订版0：初始版

技术规格

除非另有说明, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 3.3\text{ V}$, 角速率 = $0^\circ/\text{秒}$, $\pm 1\text{ g}$, $\text{MSC_CTRL} = 0x00\text{C1}$ 。

表1.

参数	测试条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
陀螺仪					
动态范围		± 100			$^\circ/\text{s}$
初始灵敏度	16位数据格式 ¹		0.005		$^\circ/\text{s}/\text{LSB}$
	32位数据格式 ¹		7.63×10^{-8}		$^\circ/\text{s}/\text{LSB}$
可重复性 ²	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$			1	%
灵敏度温度系数	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$		± 20		$\text{ppm}/^\circ\text{C}$
对准误差	轴到轴		± 0.15		度
	轴到框架(封装)		± 1		度
非线性度	最佳拟合直线		0.5		% FS
偏置可重复性 ^{2,3}	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$, 1σ				$^\circ/\text{s}$
运动中偏置稳定度	1σ		8		$^\circ/\text{hr}$
角向随机游动	1σ , x轴		0.12		$^\circ/\sqrt{\text{hr}}$
	1σ , y轴, z轴		0.17		$^\circ/\sqrt{\text{hr}}$
偏置温度系数	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$		± 0.007		$^\circ/\text{s}/^\circ\text{C}$
线性加速度对偏置的影响	任意轴, 1σ		± 0.01		$^\circ/\text{s}/\text{g}$
振动校正误差	20 Hz至2000 Hz, 5 g rms		± 0.0004		$^\circ/\text{s}/\text{g}^2$
偏置电源灵敏度	$3.15\text{ V} \leq V_{DD} \leq 3.45\text{ V}$		0.037		$^\circ/\text{s}/\text{V}$
输出噪声	无滤波		0.075		$^\circ/\text{s rms}$
速率噪声密度	10 Hz至40 Hz, 无滤波		0.004		$^\circ/\text{s}/\sqrt{\text{Hz rms}}$
-3 dB带宽			375		Hz
传感器谐振频率			28		kHz
加速度计	各轴				
动态范围		± 5			g
初始灵敏度	16位数据格式 ⁴		0.25		mg/LSB
	32位数据格式 ⁴		3.81×10^{-6}		mg/LSB
可重复性 ²	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$			1	%
灵敏度温度系数	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$		± 15		$\text{ppm}/^\circ\text{C}$
对准误差	轴到轴		± 0.05		度
	轴到框架(封装)		± 1		度
非线性度	最佳拟合直线		± 0.1		% FS
偏置可重复性 ^{2,3}	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$, 1σ		± 15		mg
运动中偏置稳定度	1σ		0.2		mg
速度随机游动	1σ		0.0025		$\text{m}/\text{s}/\sqrt{\text{hr}}$
偏置温度系数	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$		± 0.05		$\text{mg}/^\circ\text{C}$
振动校正误差	20 Hz至2000 Hz, 1 g rms		0.08		mg/g^2
偏置电源灵敏度	$3.15\text{ V} \leq V_{DD} \leq 3.45\text{ V}$		72		mg/V
输出噪声	无滤波		4.5		mg rms
噪声密度	10 Hz至40 Hz, 无滤波		0.2		$\text{mg}/\sqrt{\text{Hz rms}}$
-3 dB带宽			350		Hz
传感器谐振频率			5.5		kHz
温度					
灵敏度	见表37		0.05		$^\circ\text{C}/\text{LSB}$
逻辑输入 ⁵					
输入高电压 V_{IH}		2.0			V
输入低电压 V_{IL}				0.8	V
逻辑1输入电流, I_{IH}	$V_{IH} = 3.3\text{ V}$		± 0.2	± 10	μA

ADIS16460

参数	测试条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
逻辑0输入电流, I_{IL} 所有引脚(RST除外) RST 引脚	$V_{IL} = 0V$		40 1	60	μA mA
输入电容 C_{IN}			10		pF
数字输出 ⁵ 输出高电压 V_{OH} 输出低电压 V_{OL}	$I_{SOURCE} = 1.6 mA$ $I_{SINK} = 1.6 mA$	2.4		0.4	V V
闪存 数据保持期限 ⁷	耐久性 ⁶ $T_J = 85^\circ C$	10,000 20			周期 年
功能时间 ⁸ 上电启动时间 复位恢复时间 ^{9,10} 复位启动时间 ¹¹	直到新数据可用的时间		290 222 10		ms ms μs
转换速率 x_GYRO_OUT, x_ACCL_OUT 时钟精度 同步输入时钟 ¹² PPS Input Clock	MSC_CTRL[3:2] = 01 MSC_CTRL[3:2] = 10		2048 0.8	± 3 2000 128	SPS % Hz Hz
电源 电源电流	工作电压范围VDD VDD = 3.15 V	3.15	3.3 44	3.45 55	V mA

¹ X_GYRO_LOW(参见表10)、Y_GYRO_LOW(参见表12)和Z_GYRO_LOW(参见表14)寄存器捕捉用户配置寄存器相关的位增长。

² 可重复性规格代表分析性估测, 以下列漂移贡献和条件为基础: 温度迟滞(0°C至70°C)、电子漂移(高温工作寿命测试: 85°C、500小时)、温度循环产生的漂移(JESD22, 方法A104-C, 500次循环, -40°C至+85°C)、速率随机游动(10年估测)和宽带噪声。

³ 偏置可重复性描述的是多种条件下的长期现象。短期可重复性与运动中偏置稳定性和噪声密度规格相关。

⁴ X_ACCL_LOW(参见表24)、Y_ACCL_LOW(参见表26)和Z_ACCL_LOW(参见表28)寄存器捕捉用户配置寄存器相关的位增长。

⁵ 数字I/O信号由内部3.3 V电源驱动, 输入兼容5 V电压。

⁶ 耐久性是分别在-40°C、+25°C、+85°C和+125°C时依据JEDEC 22标准方法A117来认定的。

⁷ 根据JEDEC 22标准方法A117, 数据保持期限相当于85°C结温(T_J)时的寿命。数据保持期限会随着结温递减。

⁸ 这些时间不包括热建立和内部滤波器响应时间(375 Hz带宽), 它们可能会影响整体精度。

⁹ 该参数假定在复位周期启动之前, 一个完整启动序列已发生。

¹⁰ 该参数代表拉高RST线到DR线上脉冲恢复(指示已回到正常工作状态)的时间。

¹¹ 该参数代表RST线上的脉冲时间, 用于确保复位操作启动。

¹² 同步输入时钟在额定最小值以下也能工作, 但性能会降低。

时序规格

除非另有说明, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 3.3\text{ V}$ 。

表2.

参数	描述	正常模式			突发读取			单位
		最小值 ¹	典型值	最大值	最小值 ¹	典型值	最大值	
f_{SCLK}	串行时钟	0.1		2.0	0.1		1.0	MHz
t_{STALL}	数据之间的停转周期	16			N/A ²			μs
t_{READRATE}	读取速率	24						μs
t_{CS}	片选至SCLK边沿	200			200			ns
t_{DAV}	SCLK边沿之后的DOOUT有效时间			25			25	ns
t_{DSU}	SCLK上升沿之前的DIN建立时间	25			25			ns
t_{DHD}	SCLK上升沿之后的DIN保持时间	50			50			ns
$t_{\text{SCLKR}}, t_{\text{SCLKF}}$	SCLK上升/下降时间		5	12.5		5	12.5	ns
$t_{\text{DR}}, t_{\text{DF}}$	DOOUT上升/下降时间		5	12.5		5	12.5	ns
t_{SFS}	$\overline{\text{CS}}$ 在SCLK沿后变高	0			0			ns
t_1	输入同步正脉冲宽度	25			25			μs
t_{STDR}	输入同步至数据就绪有效跃迁		636			636		μs
t_{NV}	数据无效时间		210			210		μs
t_2	输入同步周期	500			500			μs

¹ 通过设计和特性保证, 但未经生产测试。

² 使用突发读取模式时, 停转周期不适用。

时序图

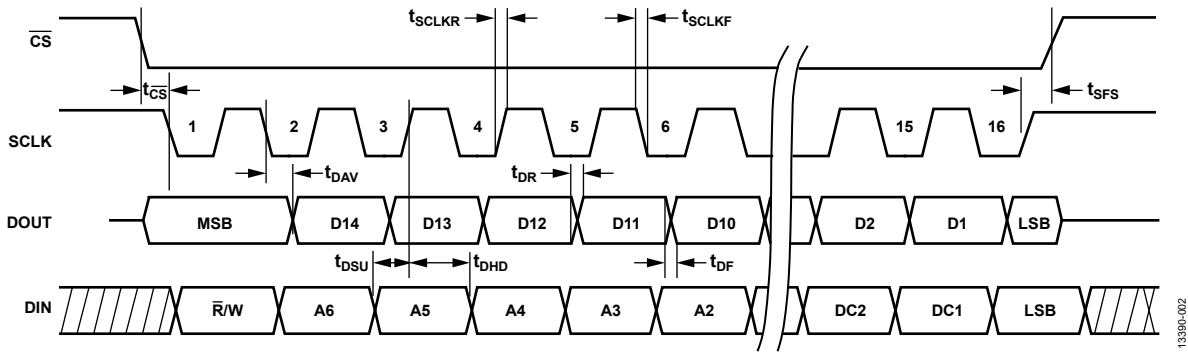


图2. SPI时序和序列

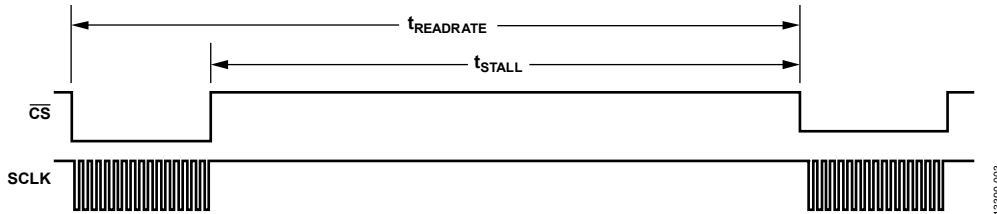


图3. 停转时间和数据速率

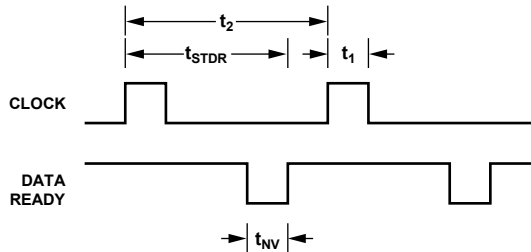


图4. 输入时钟时序图, $MSC_CTRL[0] = 1$

绝对最大额定值

表3.

参数	额定值
加速度(冲击)	
任意轴, 无电	2000 g
任意轴, 有电	2000 g
VDD至GND	-0.3 V至+3.45 V
数字输入电压至GND	-0.3 V至+5.3 V
数字输出电压至GND	-0.3 V至+VDD + 0.3 V
温度	
工作范围	-25°C至+85°C
存储范围	-65°C至+125°C ^{1,2}

¹ 长时间暴露于额定温度范围(-25°C至+85°C)以外的温度环境会对工厂校准的精度产生不利影响。为获得最高精度, 应将器件存储在-25°C至+85°C的额定工作温度范围内。

² 虽然该器件能够短时间承受150°C的高温, 但长时间暴露于高温下会损害内部机械完整性。

注意, 等于或超出上述绝对最大额定值可能会导致产品永久性损坏。这只是额定最值, 并不能以这些条件或者在任何其它超出本技术规范操作章节中所示规格的条件下, 推断产品能否正常工作。长期在超出最大额定值条件下工作会影响产品的可靠性。

表4. 封装特性

封装类型	θ_{JA} (°C/W)	θ_{JC} (°C/W)	质量(克)
14引脚模块	36.5	16.9	15

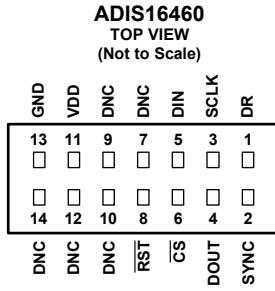
ESD警告



ESD(静电放电)敏感器件。

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

引脚配置和功能描述

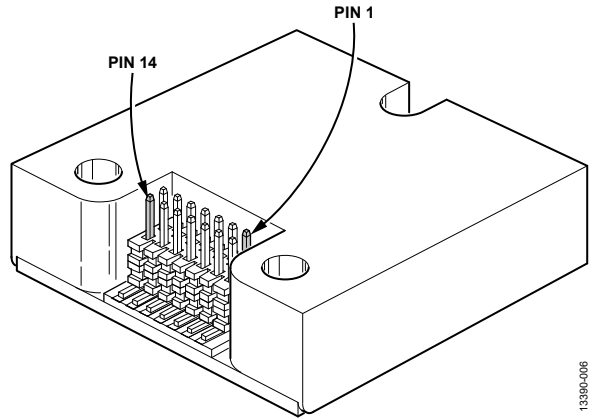


NOTES

1. THIS REPRESENTS THE PIN ASSIGNMENTS WHEN LOOKING DOWN AT THE CONNECTOR. SEE FIGURE 6.
2. MATING CONNECTOR: SAMTEC CLM-107-02 SERIES OR EQUIVALENT.
3. DNC = DO NOT CONNECT.

13390-006

图5. 引脚配置



13390-006

图6. 引脚位置

表5. 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	类型	描述
1	DR	输出	数据就绪指示。
2	SYNC	输入/输出	外部同步输入/输出，根据MSC_CTRL。参见表50。
3	SCLK	输入	SPI串行时钟。
4	DOUT	输出	SPI数据输出。此引脚在SCLK下降沿输出数据。
5	DIN	输入	SPI数据输入。此引脚在SCLK上升沿输入数据。
6	CS	输入	SPI片选。
7	DNC	不适用	不连接。请勿连接该引脚。
8	RST	输入	复位。
9	DNC	不适用	不连接。请勿连接该引脚。
10	DNC	不适用	不连接。请勿连接该引脚。
11	VDD	电源	电源。
12	DNC	不适用	不连接。请勿连接该引脚。
13	GND	电源	电源地。
14	DNC	不适用	不连接。请勿连接该引脚。

典型性能参数

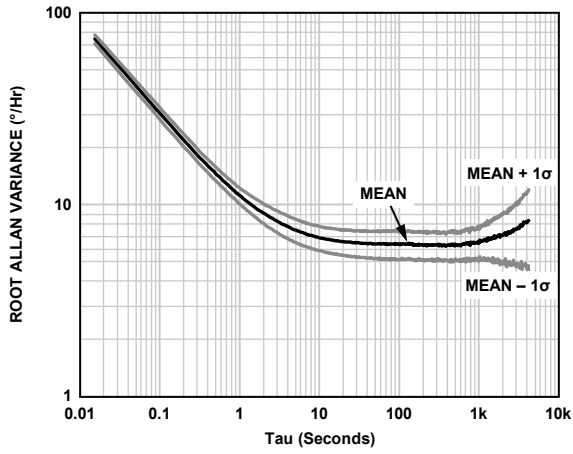


图7. 陀螺仪艾伦方差根

13390-007

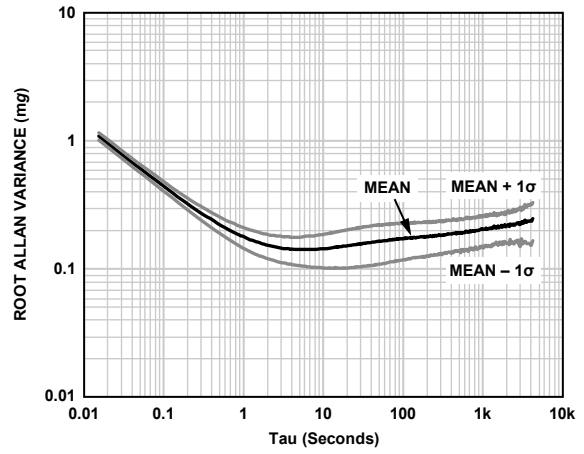


图10. 加速度计艾伦方差根

13390-008

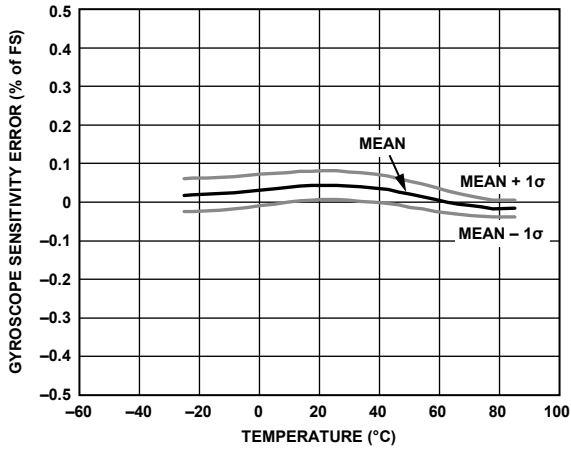


图8. 陀螺仪灵敏度误差与从冷到热温度扫描的关系

13390-100

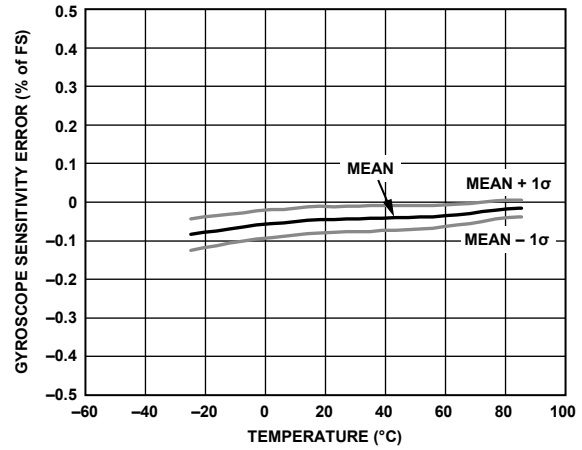


图11. 陀螺仪灵敏度误差与从热到冷温度扫描的关系

13390-101

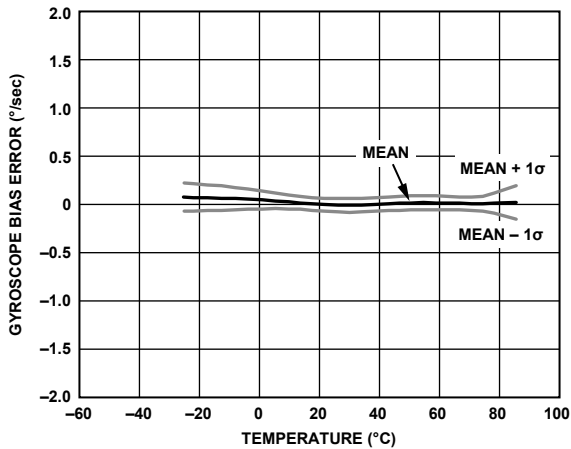


图9. 陀螺仪偏置误差与从冷到热温度扫描的关系

13390-102

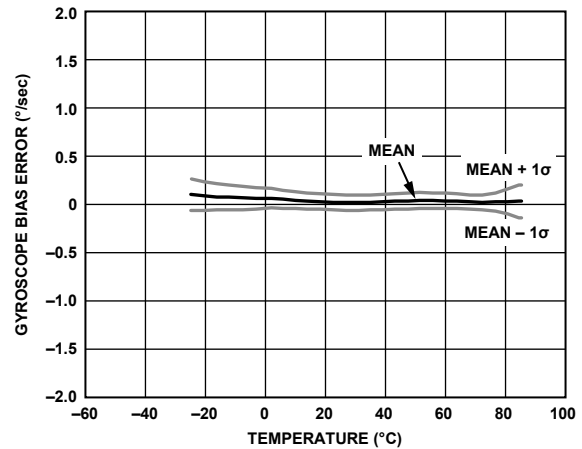


图12. 陀螺仪偏置误差与从热到冷温度扫描的关系

13390-103

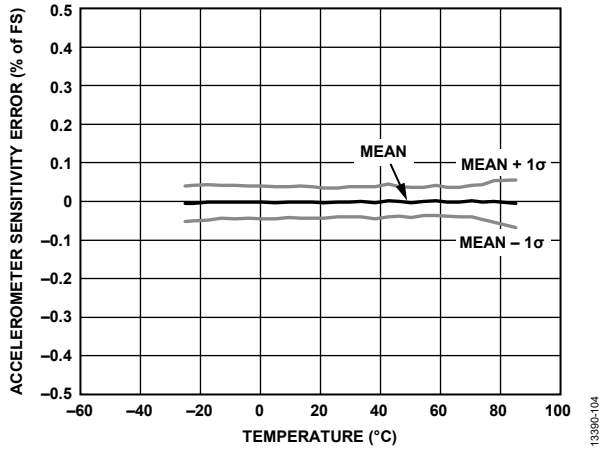


图13. 加速度计灵敏度误差与从冷到热温度扫描的关系

13390-104

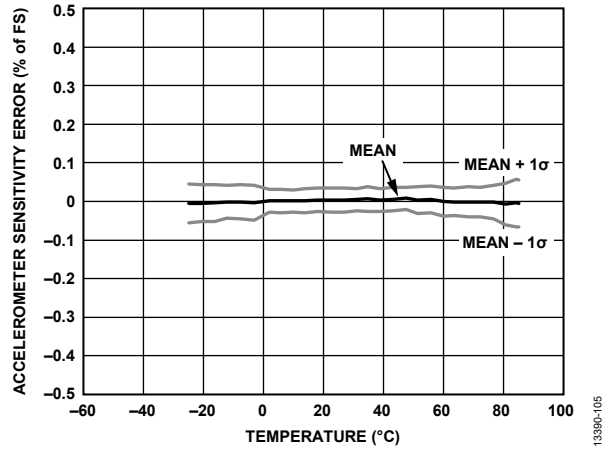


图15. 加速度计灵敏度误差与从热到冷温度扫描的关系

13390-105

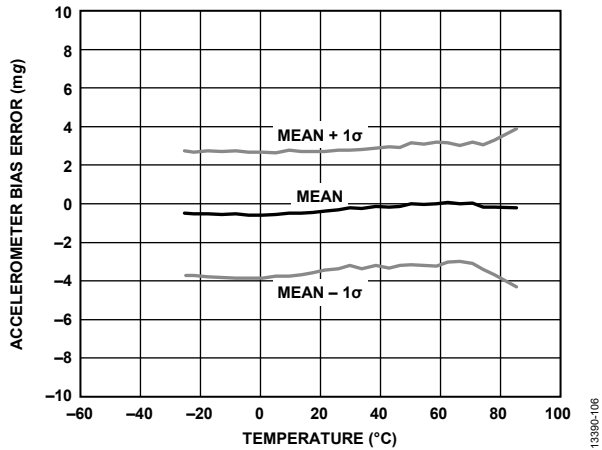


图14. 加速度计偏置误差与从冷到热温度扫描的关系

13390-106

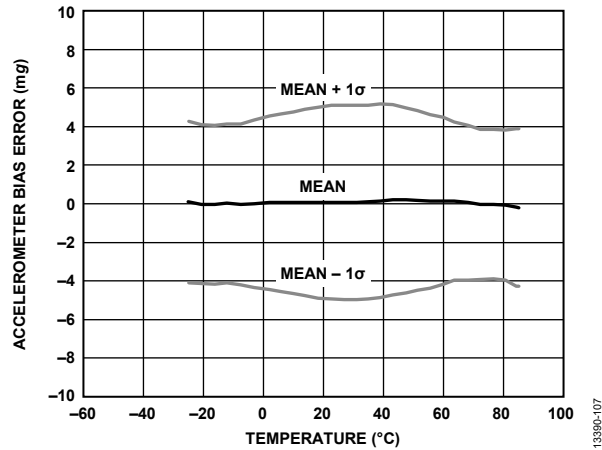


图16. 加速度计偏置误差与从热到冷温度扫描的关系

13390-107

ADIS16460

工作原理

ADIS16460是一个自治工作的传感器系统，无需用户初始化。当在VDD和GND引脚上为其提供充足的电源时，它会自行初始化，并以2048 SPS的采样速率开始采样、处理，并将传感器数据加载到输出寄存器。每个采样周期结束后，DR引脚(参见图5)变为高电平。利用SPI接口可以与许多嵌入式处理器平台轻松集成，如图17(电气连接)和表6(引脚功能)所示。

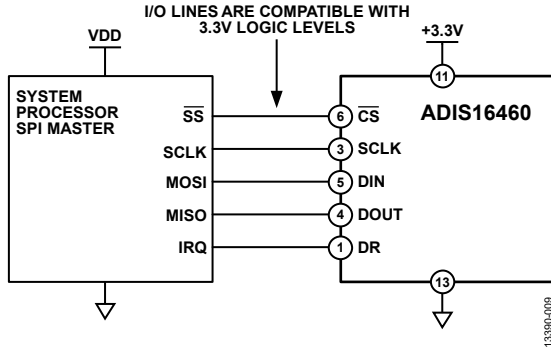


图17. 电气连接图

表6. 通用主机处理器引脚名称及功能

引脚名称	功能
SS	选择从机
SCLK	串行时钟
MOSI	主机输出，从机输入
MISO	主机输入，从机输出
IRQ	中断请求

ADIS16460 SPI接口支持全双工串行通信(同时执行发送和接收)并采用图20中所示的位序。表7提供了常见设置列表，针对ADIS16460初始化处理器串行端口时需要注意。

表7. 通用主机处理器SPI设置

处理器设置	描述
主机	ADIS16460用作从机
SCLK速率 ¹	最大串行时钟速率，参见表2
SPI模式3	CPOL = 1(极性)，CPHA = 1(相位)
MSB优先	位序，参见图20
16位长度	移位寄存器/数据长度

¹ 对于突发读取，SCLK速率 ≤ 1 MHz。

读取传感器数据

为了获取传感器数据，ADIS16460提供了两个选项：单个寄存器和突发寄存器。单个寄存器读操作需要两个16位SPI周期。在第一个周期中，利用图20中的位分配功能请求读取一个寄存器的内容。对于读操作，DC7至DC0位是无关位，输出寄存器内容在第二个周期中通过DOUT输出。图18显示了三个连续的寄存器读操作。

本例中，首先是DIN = 0x0600，请求X_GYRO_OUT的内容；然后是DIN = 0x0A00，请求Y_GYRO_OUT的内容；最后是DIN = 0x0E00，请求Z_GYRO_OUT的内容。全双工操作支持处理器利用同一16位SPI周期从DOUT读取数据，同时通过DIN请求下一数据集。图19提供了四个SPI信号重复读取X_GYRO_OUT时的示例。

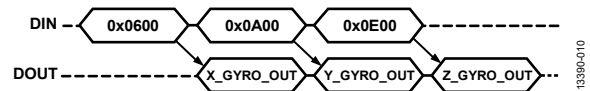


图18. SPI读操作示例

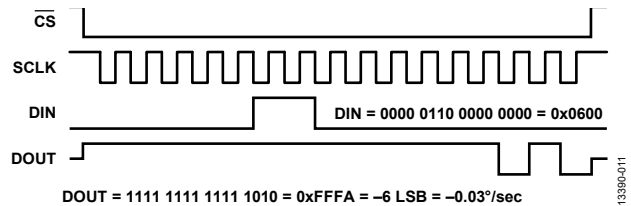
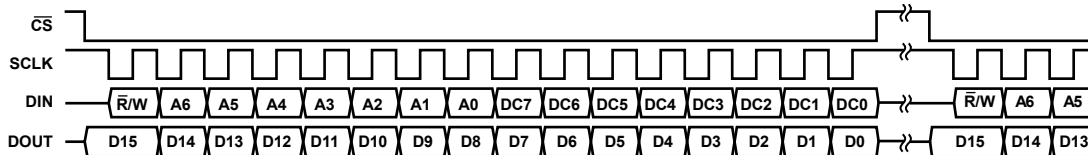


图19. SPI读取示例，第二序列



NOTES

1. THE DOUT BIT PATTERN REFLECTS THE ENTIRE CONTENTS OF THE REGISTER IDENTIFIED BY [A6:A0] IN THE PREVIOUS 16-BIT DIN SEQUENCE WHEN R/W = 0.
2. IF R/W = 1 DURING THE PREVIOUS SEQUENCE, DOUT IS NOT DEFINED.

图20. SPI通信位序

突发读取功能

突发读取功能提供在一个连续位流中读取所有数据的方法，各16位段之间无停转时间。如图21所示，设置DIN = 0x3E00可开启该模式，同时保持CS低电平持续8个额外16位读取周期。这10个周期在DOUT线上产生下列输出寄存器序列：DIAG_STAT、X_GYRO_OUT、Y_GYRO_OUT、Z_GYRO_OUT、X_ACCL_OUT、Y_ACCL_OUT、Z_ACCL_OUT、TEMP_OUT、SMPL_CNTR和校验和。校验和值用于确认数据完整性，因为它是从以下公式得出(该过程中各字节都无符号)。

$$\begin{aligned} \text{校验和} = & \text{DIAG_STAT}[15:8] + \text{DIAG_STAT}[7:0] + \\ & \text{X_GYRO_OUT}[15:8] + \text{X_GYRO_OUT}[7:0] + \\ & \text{Y_GYRO_OUT}[15:8] + \text{Y_GYRO_OUT}[7:0] + \\ & \text{Z_GYRO_OUT}[15:8] + \text{Z_GYRO_OUT}[7:0] + \\ & \text{X_ACCL_OUT}[15:8] + \text{X_ACCL_OUT}[7:0] + \\ & \text{Y_ACCL_OUT}[15:8] + \text{Y_ACCL_OUT}[7:0] + \\ & \text{Z_ACCL_OUT}[15:8] + \text{Z_ACCL_OUT}[7:0] + \\ & \text{TEMP_OUT}[15:8] + \text{TEMP_OUT}[7:0] + \\ & \text{SMPL_CNTR}[15:8] + \text{SMPL_CNTR}[7:0] \end{aligned}$$

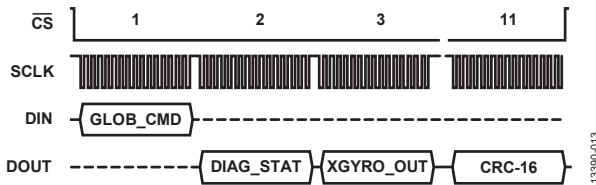


图21. 突发读取序列

SPI读取测试序列

图22提供了一个用于SPI通信测试的测试模式。在该模式中，0x5600被重复写入DIN线，片选信号在各16位序列之间保持高电平的时间应满足停转时间要求(参见表2)。从第二个16位序列开始，DOUT产生PROD_ID寄存器的内容0x404C(见表41)。

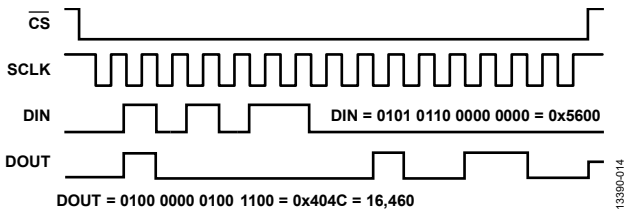


图22. SPI测试读取模式(DIN = 0x5600, DOUT = 0x404C)

器件配置

表8中的控制寄存器为用户提供了多种配置选项。SPI端口使用图20所示的位分配功能来访问这些寄存器，一次一个字节。每个寄存器都有16位，其中位[7:0]代表低位地址，位[15:8]代表高位地址。图23提供了一个将0x01写入地址0x3E的示例(GLOB_CMD[1]，使用DIN = 0xBE01)。

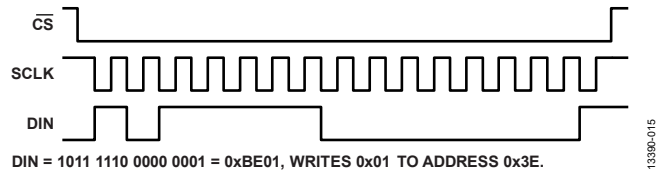


图23. SPI写序列示例

双存储器结构

将配置数据写入控制寄存器会更新其SRAM内容，SRAM是易失性存储器。优化系统中的各相关控制寄存器设置之后，设置GLOB_CMD[3] = 1 (DIN = 0xBE08)可将这些设置复制到非易失性闪存。闪存更新过程全程要求有效的电源电平(见表44)。表8列出了用户寄存器的存储器映射，其中包括一个闪存备份栏。此栏中的“是”表示相应的寄存器在闪存中有一个镜像位置，正确备份后，寄存器在启动期间或复位之后可以自动恢复其内容。图24是用于管理操作和存储关键用户设置的双存储器结构示意图。

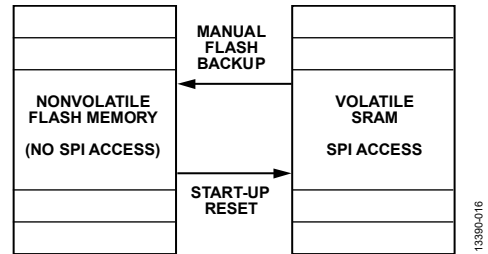


图24. SRAM和闪存图

用户寄存器

表8. 用户寄存器存储器映射¹

名称	R/W	闪存备份	地址 ²	默认值	功能	位分配
FLASH_CNT	R	是	0x00	无	闪存写操作计数	见表49
DIAG_STAT	R	否	0x02	0x0000	诊断和工作状态	见表43
X_GYRO_LOW	R	否	0x04	无	X轴陀螺仪输出, 低位字	见表10
X_GYRO_OUT	R	否	0x06	无	X轴陀螺仪输出, 高位字	见表11
Y_GYRO_LOW	R	否	0x08	无	Y轴陀螺仪输出, 低位字	见表12
Y_GYRO_OUT	R	否	0x0A	无	Y轴陀螺仪输出, 高位字	见表13
Z_GYRO_LOW	R	否	0x0C	无	Z轴陀螺仪输出, 低位字	见表14
Z_GYRO_OUT	R	否	0x0E	无	Z轴陀螺仪输出, 高位字	见表15
X_ACCL_LOW	R	否	0x10	无	X轴加速度计输出, 低位字	见表24
X_ACCL_OUT	R	否	0x12	无	X轴加速度计输出, 高位字	见表25
Y_ACCL_LOW	R	否	0x14	无	Y轴加速度计输出, 低位字	见表26
Y_ACCL_OUT	R	否	0x16	无	Y轴加速度计输出, 高位字	见表27
Z_ACCL_LOW	R	否	0x18	无	Z轴加速度计输出, 低位字	见表28
Z_ACCL_OUT	R	否	0x1A	无	Z轴加速度计输出, 高位字	见表29
SMP_L_CNTR	R	否	0x1C	无	采样计数器, MSC_CTRL[3:2] = 11	见表52
TEMP_OUT	R	否	0x1E	无	温度(内部, 未校准)	见表37
Reserved	无	无	0x20, 0x22	无	保留, 请勿使用	无
X_DELT_ANG	R	否	0x24	无	X轴角度变化输出	见表18
Y_DELT_ANG	R	否	0x26	无	Y轴角度变化输出	见表19
Z_DELT_ANG	R	否	0x28	无	Z轴角度变化输出	见表20
X_DELT_VEL	R	否	0x2A	无	X轴速度变化	见表32
Y_DELT_VEL	R	否	0x2C	无	Y轴速度变化	见表33
Z_DELT_VEL	R	否	0x2E	无	Z轴速度变化	见表34
Reserved	无	无	0x30	无	保留, 请勿使用	无
MSC_CTRL	R/W	是	0x32	0x00C1	其它控制	见表50
SYNC_SCAL	R/W	是	0x34	0x7FFF	同步输入量程控制	见表51
DEC_RATE	R/W	是	0x36	0x0000	抽取率控制	见表53
FLTR_CTRL	R/W	是	0x38	0x0500	滤波器控制, 自动调零记录时间	见表54
Reserved	无	无	0x3A, 0x3C	无	保留, 请勿使用	无
GLOB_CMD	W	否	0x3E	无	全局命令	见表44
X_GYRO_OFF	R/W	是	0x40	0x0000	X轴陀螺仪偏置失调系数	见表55
Y_GYRO_OFF	R/W	是	0x42	0x0000	Y轴陀螺仪偏置失调系数	见表56
Z_GYRO_OFF	R/W	是	0x44	0x0000	Z轴陀螺仪偏置失调系数	见表57
X_ACCL_OFF	R/W	是	0x46	0x0000	X轴加速度计偏置失调系数	见表58
Y_ACCL_OFF	R/W	是	0x48	0x0000	Y轴加速度计偏置失调系数	见表59
Z_ACCL_OFF	R/W	是	0x4A	0x0000	Z轴加速度计偏置失调系数	见表60
Reserved	无	无	0x4C, 0x4E, 0x50	无	保留, 请勿使用	无
LOT_ID1	R	是	0x52	无	批次标识号1	见表39
LOT_ID2	R	是	0x54	无	批次标识号2	见表40
PROD_ID	R	是	0x56	0x404C	产品标识	见表41
SERIAL_NUM	R	是	0x58	无	批次数列号	见表42
CAL_SGNTR	R	无	0x60	无	校准存储器签名值	见表46
CAL_CRC	R	无	0x62	无	校准存储器CRC值	见表48
CODE_SGNTR	R	无	0x64	无	代码存储器签名值	见表45
CODE_CRC	R	无	0x66	无	代码存储器CRC值	见表47

¹ N/A表示不适用。² 每个寄存器均包含两个字节。显示的地址是低位字节地址。高位字节的地址等于低位字节的地址加上1。

输出数据寄存器

输出数据寄存器包含惯性传感器(陀螺仪、加速度计)测量、角度变化计算、速度变化计算和相对温度监测。

旋转

ADIS16460利用iMEMS陀螺仪提供围绕三个正交轴的惯性旋转测量结果，它有两种不同格式：角速率和角位移(角度变化)。图26显示了各轴的分配以及相应输出寄存器(参见表9)中的正响应所对应的旋转方向。

角速率数据

旋转角速率数据代表三轴MEMS陀螺仪的校准响应。6个寄存器提供这些测量的实时结果。每个轴有两个专用寄存器：一个主要寄存器和一个辅助寄存器。表9列出了图26中各轴(ω_x 、 ω_y 、 ω_z)的寄存器分配。

表9. 旋转角速率数据寄存器

轴	主要寄存器	次要寄存器
ω_x	X_GYRO_OUT(参见表11)	X_GYRO_LOW(参见表10)
ω_y	Y_GYRO_OUT(参见表13)	Y_GYRO_LOW(参见表12)
ω_z	Z_GYRO_OUT(参见表15)	Z_GYRO_LOW(参见表14)

主要寄存器提供一个16位二进制补码数，比例因子(K_G)等于 $0.005^\circ/\text{s}/\text{LSB}$ 。辅助寄存器让用户能够捕捉与用户可配置数字滤波器(参见表53和表54)中的求和函数相关的位增长。图25显示了围绕X轴旋转的角速率的主要寄存器(X_GYRO_OUT)和辅助寄存器(X_GYRO_LOW)如何合并以提供一个最多支持32位数字分辨率的数字结果。

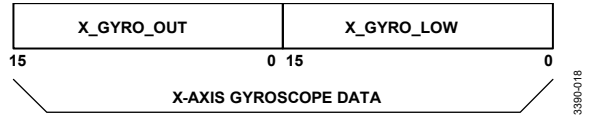


图25. 32位陀螺仪数据格式

表10. X_GYRO_LOW(基地址 = 0x04)，只读

位	描述
[15:0]	X轴，陀螺仪，输出数据 来自X_GYRO_OUT数据路径的位增长

表11. X_GYRO_OUT(基地址 = 0x06)，只读

位	描述
[15:0]	X轴，陀螺仪输出数据， $0.005^\circ/\text{s}/\text{LSB}$ (K_G) $0^\circ/\text{s} = 0x0000$ ，二进制补码格式

表12. Y_GYRO_LOW(基地址 = 0x08)，只读

位	描述
[15:0]	Y轴，陀螺仪，输出数据 来自Y_GYRO_OUT数据路径的位增长

表13. Y_GYRO_OUT(基地址 = 0x0A)，只读

位	描述
[15:0]	Y轴，陀螺仪输出数据， $0.005^\circ/\text{s}/\text{LSB}$ (K_G) $0^\circ/\text{s} = 0x0000$ ，二进制补码格式

表14. Z_GYRO_LOW(基地址 = 0x0C)，只读

位	描述
[15:0]	Z轴，陀螺仪，输出数据 来自Z_GYRO_OUT数据路径的位增长

表15. Z_GYRO_OUT(基地址 = 0x0E)，只读

位	描述
[15:0]	Z轴，陀螺仪输出数据， $0.005^\circ/\text{s}/\text{LSB}$ (K_G) $0^\circ/\text{s} = 0x0000$ ，二进制补码格式

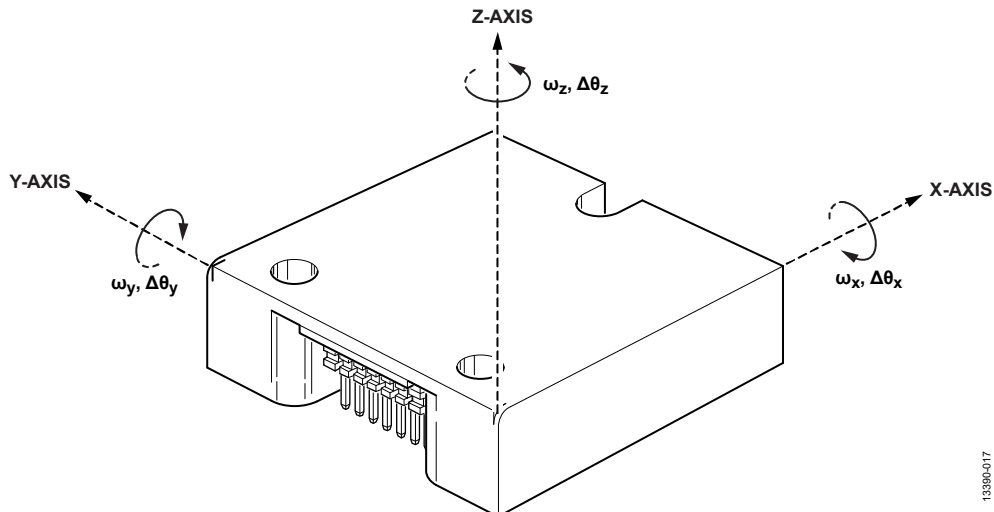


图26. 惯性传感器定义

ADIS16460

表16提供了仅使用主要寄存器时16位测量结果的数字数据格式的7个例子。

表16. 旋转速率，16位示例

旋转速率 (°/s)	十进制	十六进制	二进制
+100	20,000	0x4E20	0100 1110 0010 0000
+0.01	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010
+0.005	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001
0	0	0x0000	0000 0000 0000 0000
-0.005	-1	0xFFFF	1111 1111 1111 1111
-0.01	-2	0xFFFE	1111 1111 1111 1110
-100	-20,000	0xB1E0	1011 0001 1110 0000

虽然不是全部，但很多应用不需要32位数字分辨率来保证传感器的关键性能标准。当截断数据以获得较少位数时，请使用以下公式计算最低有效位的比例因子：

$$1 \text{ LSB} = K_G \times \frac{1}{2^{N-16}}$$

其中，N为总位数。

例如，若系统使用x_GYRO_LOW寄存器中的4位，则数据宽度为20位，LSB权重等于0.0003215°/s。

$$1 \text{ LSB} = 0.005^\circ/\text{sec} \times \frac{1}{2^{20-16}}$$

$$1 \text{ LSB} = 0.005^\circ/\text{sec} \times \frac{1}{16} = 0.0003125^\circ/\text{sec}$$

表17提供了使用主要寄存器和辅助寄存器以产生20位旋转角速率测量结果的数字数据格式的7个例子。

表17. 旋转速率，20位示例

旋转速率 (°/s)	十进制	十六进制	二进制
+100	+320,000	0x4E200	0100 1110 0010 0000 0000
+0.000625	+2	0x00002	0000 0000 0000 0000 0010
+0.0003125	+1	0x00001	0000 0000 0000 0000 0001
0	0	0x00000	0000 0000 0000 0000 0000
-0.0003125	-1	0xFFFFF	1111 1111 1111 1111 1111
-0.000625	-2	0xFFFFE	1111 1111 1111 1111 1110
-100	-320,000	0xB1E00	1011 0001 1110 0000 0000

角度变化数据

角度变化测量(图26中的 $\Delta\theta_x$ 、 $\Delta\theta_y$ 、 $\Delta\theta_z$)代表各数据处理周期中围绕各轴的角位移。三个寄存器提供这些测量的实时结果，各轴(X、Y、Z)都有自己的专用寄存器。X_DELT_ANGLE(参见表18)是X轴的输出数据寄存器(图26中的 $\Delta\theta_x$)，Y_DELT_ANGLE(参见表19)是Y轴的输出数据寄存器(图26中的 $\Delta\theta_y$)，Z_DELT_ANGLE(参见表20)是Z轴的输出数据寄存器(图26中的 $\Delta\theta_z$)。这些寄存器的比例因子取决于陀螺仪的比例因子(参见表11， $K_G = 0.005^\circ/\text{s}/\text{LSB}$)、与MSC_CTRL

[3:2](参见表50)相关的采样时钟(f_{SAMPLE})以及抽取率设置(DEC_RATE，参见表53)。

表18. X_DELT_ANGLE(基地址 = 0x24)，只读

位	描述
[15:0]	X轴，角度变化输出数据 0° = 0x0000，二进制补码格式 1 LSB = $K_G \times (\text{DEC_RATE} + 1) / f_{\text{SAMPLE}}$ (度) MSC_CTRL[3:2] = 00时， $f_{\text{SAMPLE}} = 2048 \text{ Hz}$ MSC_CTRL[3:2] ≠ 00时， f_{SAMPLE} 为外部时钟速率

表19. Y_DELT_ANGLE(基地址 = 0x26)，只读

位	描述
[15:0]	Y轴，角度变化输出数据 0° = 0x0000，二进制补码格式 1 LSB = $K_G \times (\text{DEC_RATE} + 1) / f_{\text{SAMPLE}}$ (度) MSC_CTRL[3:2] = 00时， $f_{\text{SAMPLE}} = 2048 \text{ Hz}$ MSC_CTRL[3:2] ≠ 00时， f_{SAMPLE} 为外部时钟速率

表20. Z_DELT_ANGLE(基地址 = 0x28)，只读

位	描述
[15:0]	Z轴，角度变化输出数据 0° = 0x0000，二进制补码格式 1 LSB = $K_G \times (\text{DEC_RATE} + 1) / f_{\text{SAMPLE}}$ (度) MSC_CTRL[3:2] = 00时， $f_{\text{SAMPLE}} = 2048 \text{ Hz}$ MSC_CTRL[3:2] ≠ 00时， f_{SAMPLE} 为外部时钟速率

表21显示了MSC_CTRL[3:2] = 00 ($f_{\text{SAMPLE}} = 2048 \text{ Hz}$)且DEC_RATE = 0x0000时角度变化数据格式的数值示例。

表21. x_DELT_ANGLE数据格式，示例1

角度(°) ¹	十进制	十六进制	二进制
+0.079998	+32,767	0x7FFF	0111 1111 1111 1111
+0.000048828	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010
+0.000024414	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001
0	0	0x0000	0000 0000 0000 0000
-0.000024414	-1	0xFFFF	1111 1111 1111 1111
-0.000048828	-2	0xFFFE	1111 1111 1111 1110
-0.080000	-32,768	0x8000	1000 0000 0000 0000

¹ MSC_CTRL[3:2] = 00，DEC_RATE = 0x0000。

表22显示了MSC_CTRL[3:2] = 01、外部时钟(f_{SAMPLE})为2000 Hz且DEC_RATE = 0x0009时角度变化数据格式的数值示例。

表22. x_DELT_ANGLE数据格式，示例2

角度(°) ¹	十进制	十六进制	二进制
+0.81918	+32,767	0x7FFF	0111 1111 1111 1111
+0.000050	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010
+0.000025	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001
0	0	0x0000	0000 0000 0000 0000
-0.000025	-1	0xFFFF	1111 1111 1111 1111
-0.000050	-2	0xFFFE	1111 1111 1111 1110
-0.81920	-32,768	0x8000	1000 0000 0000 0000

¹ MSC_CTRL[3:2] = 01，DEC_RATE = 0x0009， $f_{\text{SAMPLE}} = 2000 \text{ Hz}$ 。

加速度计

ADIS16460利用iMEMS加速度计提供沿三个正交轴的线性惯性测量结果，它有两种不同格式：线性加速度和速度变化。图28显示了各轴的分配以及相应输出寄存器(参见表9)中的正响应所对应的线性加速度方向。

线性加速度

线性加速度测量结果代表三轴MEMS加速度计的校准响应。6个寄存器提供这些测量的实时结果。每个轴有两个专用寄存器：一个主要寄存器和一个辅助寄存器。表23列出了图28中各轴(a_x 、 a_y 、 a_z)的寄存器分配。

表23. 线性加速度数据寄存器

轴	主要寄存器	次要寄存器
a_x	X_ACCL_OUT(参见表25)	X_ACCL_LOW(参见表24)
a_y	Y_ACCL_OUT(参见表27)	Y_ACCL_LOW(参见表26)
a_z	Z_ACCL_OUT(参见表29)	Z_ACCL_LOW(参见表28)

主要寄存器提供一个16位二进制补码数，比例因子(K_A)等于0.25 mg/LSB。辅助寄存器让用户能够捕捉与用户可配置数字滤波器(参见表53和表54)中的求和函数相关的位增长。图27显示了沿X轴的线性加速度的主要寄存器(X_ACCL_OUT)和辅助寄存器(X_ACCL_LOW)如何合并以提供一个最多支持32位数字分辨率的数字结果。

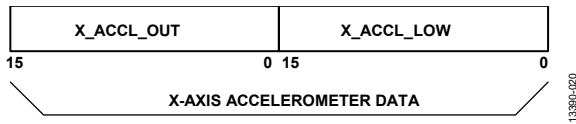


图27. 32位加速度计数据格式

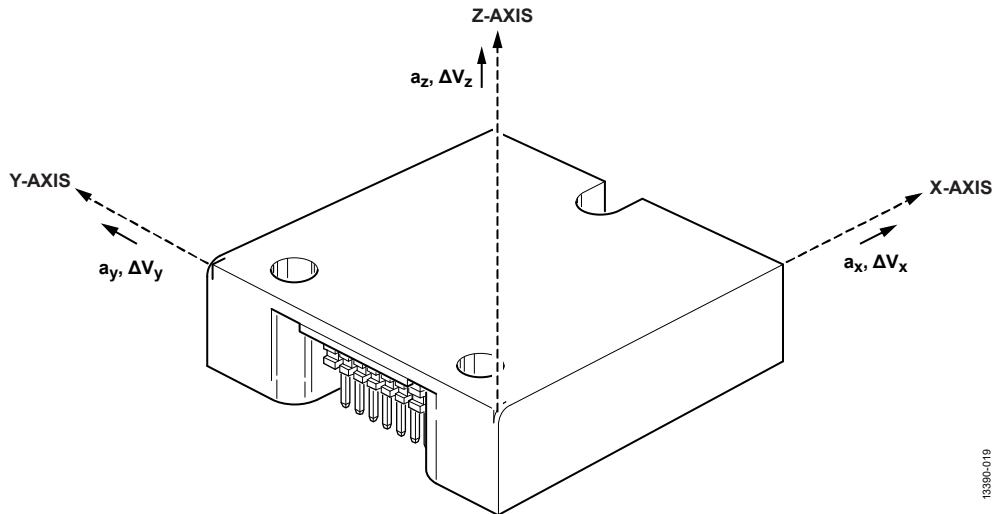


图28. 惯性传感器定义

表24. X_ACCL_LOW(基地址 = 0x10)，只读

位	描述
[15:0]	X轴，加速度计，输出数据 来自X_ACCL_OUT数据路径的位增长

表25. X_ACCL_OUT(基地址 = 0x12)，只读

位	描述
[15:0]	X轴，加速度计输出数据，0.25 mg/LSB (K_A) 0 mg = 0x0000，二进制补码格式

表26. Y_ACCL_LOW(基地址 = 0x14)，只读

位	描述
[15:0]	Y轴，加速度计，输出数据 来自Y_ACCL_OUT数据路径的位增长

表27. Y_ACCL_OUT(基地址 = 0x16)，只读

位	描述
[15:0]	Y轴，加速度计输出数据，0.25 mg/LSB (K_A) 0 mg = 0x0000，二进制补码格式

表28. Z_ACCL_LOW(基地址 = 0x18)，只读

位	描述
[15:0]	Z轴，加速度计，输出数据 来自Z_ACCL_OUT数据路径的位增长

表29. Z_ACCL_OUT(基地址 = 0x1A)，只读

位	描述
[15:0]	Z轴，加速度计输出数据，0.25 mg/LSB (K_A) 0 mg = 0x0000，二进制补码格式

ADIS16460

表30提供了仅使用主要寄存器时16位测量结果的数字数据格式的7个例子。

表30. 加速度(二进制补码格式)

加速度(mg)	十进制	十六进制	二进制
+5000	20,000	0x4E20	0100 1110 0010 0000
+0.5	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010
+0.25	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001
0	0	0x0000	0000 0000 0000 0000
-0.25	-1	0xFFFF	1111 1111 1111 1111
-0.5	-2	0xFFFE	1111 1111 1111 1110
-5000	-20,000	0xB1E0	1011 0001 1110 0000

虽然不是全部，但很多应用不需要32位数字分辨率来保证传感器的关键性能标准。当截断数据以获得较少位数时，请使用以下公式计算最低有效位的比例因子：

$$1 \text{ LSB} = K_A \times \frac{1}{2^{N-16}}$$

其中，N为总位数。

例如，若系统使用x_ACCL_LOW寄存器中的2位，则数据宽度为18位，LSB权重等于0.0625 mg。

$$1 \text{ LSB} = 0.25 \text{ mg} \times \frac{1}{2^{18-16}}$$

$$1 \text{ LSB} = 0.25 \text{ mg} \times \frac{1}{4} = 0.0625 \text{ mg}$$

表31提供了使用主要寄存器和辅助寄存器以产生18位旋转角速率测量结果的数字数据格式的7个例子。

表31. 加速度，18位示例

加速度(mg)	十进制	十六进制	二进制
+5000	80,000	0x13880	01 0011 1000 1000 0000
+0.125	+2	0x00002	00 0000 0000 0000 0010
+0.0625	+1	0x00001	00 0000 0000 0000 0001
0	0	0x00000	00 0000 0000 0000 0000
-0.0625	-1	0x3FFFF	11 1111 1111 1111 1111
-0.125	-2	0x3FFFE	11 1111 1111 1111 1110
-5000	-80,000	0x2C780	10 1100 0111 1000 0000

速度变化数据

速度变化测量(图28中的 ΔV_x 、 ΔV_y 、 ΔV_z)代表各数据处理周期中沿各轴的速度变化。三个寄存器提供这些测量的实时结果，各轴(X、Y、Z)都有自己的专用寄存器。X_DELT_VEL(参见表32)是X轴的输出数据寄存器(图28中的 ΔV_x)，Y_DELT_VEL(参见表33)是Y轴的输出数据寄存器(图28中的 ΔV_y)，Z_DELT_VEL(参见表34)是Z轴的输出数据寄存器(图28中的 ΔV_z)。这些寄存器的比例因子取决于加速度计的比例因子(参见表25， $K_A = 0.25 \text{ mg/s/LSB}$)、与MSC_CTRL[3:2](参见表50)相关的采样时钟(f_{SAMPLE})以及抽取率设置(DEC_RATE，参见表53)。

表32. X_DELT_VEL(基地址 = 0x2A)，只读

位	描述
[15:0]	X轴，速度变化输出数据 0° = 0x0000，二进制补码格式 1 LSB = $K_A \times 10 \times (\text{DEC_RATE} + 1) / f_{\text{SAMPLE}}$ (mm/s) MSC_CTRL[3:2] = 00时， $f_{\text{SAMPLE}} = 2048 \text{ Hz}$ MSC_CTRL[3:2] ≠ 00时， f_{SAMPLE} 为外部时钟速率

表33. Y_DELT_VEL(基地址 = 0x2C)，只读

位	描述
[15:0]	Y轴，速度变化输出数据 0° = 0x0000，二进制补码格式 1 LSB = $K_A \times 10 \times (\text{DEC_RATE} + 1) / f_{\text{SAMPLE}}$ (mm/s) MSC_CTRL[3:2] = 00时， $f_{\text{SAMPLE}} = 2048 \text{ Hz}$ MSC_CTRL[3:2] ≠ 00时， f_{SAMPLE} 为外部时钟速率

表34. Z_DELT_VEL(基地址 = 0x2E)，只读

位	描述
[15:0]	Z轴，速度变化输出数据 0° = 0x0000，二进制补码格式 1 LSB = $K_A \times 10 \times (\text{DEC_RATE} + 1) / f_{\text{SAMPLE}}$ (mm/s) MSC_CTRL[3:2] = 00时， $f_{\text{SAMPLE}} = 2048 \text{ Hz}$ MSC_CTRL[3:2] ≠ 00时， f_{SAMPLE} 为外部时钟速率

表35显示了MSC_CTRL[3:2] = 00 ($f_{\text{SAMPLE}} = 2048 \text{ Hz}$)且DEC_RATE = 0x0000时速度变化数据格式的数值示例。

表35. x_DELT_VEL数据格式，示例1

速度(mm/s)	十进制	十六进制	二进制
+39.999	+32,767	0x7FFF	0111 1111 1111 1111
+0.0024414	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010
+0.0012207	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001
0	0	0x0000	0000 0000 0000 0000
-0.0012207	-1	0xFFFF	1111 1111 1111 1111
-0.0024414	-2	0xFFFE	1111 1111 1111 1110
-40	-32,768	0x8000	1000 0000 0000 0000

¹ MSC_CTRL[3:2] = 00，DEC_RATE = 0x0000。

表36显示了MSC_CTRL[3:2] = 01、外部时钟(f_{SAMPLE})为2000 Hz且DEC_RATE = 0x0009时速度变化数据格式的数值示例。

表36. x_DELT_VEL数据格式, 示例2

速度 (mm/s)	十进制	十六进制	二进制
+409.59	+32,767	0x7FFF	0111 1111 1111 1111
+0.0250	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010
+0.0125	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001
0	0	0x0000	0000 0000 0000 0000
-0.0125	-1	0xFFFF	1111 1111 1111 1111
-0.0250	-2	0xFFFE	1111 1111 1111 1110
-409.6	-32,768	0x8000	1000 0000 0000 0000

¹ MSC_CTRL[3:2] = 01, DEC_RATE = 0x0009, $f_{\text{SAMPLE}} = 2000$ Hz。

内部温度

内部温度测量数据加载到TEMP_OUT寄存器(参见表37)。表38显示了温度数据格式。注意, 此温度代表内部温度读数, 并不能精确反映外部条件。TEMP_OUT主要用于监控温度的相对变化。

表37. TEMP_OUT(基地址 = 0x1E), 只读

位	描述
[15:0]	二进制补码, 0.05°C/LSB, 25°C = 0x0000

表38. 温度(二进制补码格式)

温度(°C)	十进制	十六进制	二进制
+105	+1600	0x0640	0000 0110 0100 0000
+85	+1200	0x04B0	0000 0100 1011 0000
+25.1	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010
+25.05	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001
+25	0	0x0000	0000 0000 0000 0000
+24.95	-1	0xFFFF	1111 1111 1111 1111
+24.90	-2	0xFFFE	1111 1111 1111 1110
-40	-1300	0xFAEC	1111 1010 1110 1100

产品标识

PROD_ID寄存器包含16,460的二进制等效值(参见表41), 它为需要在系统软件中跟踪此产品的系统提供一个特定变量。LOT_ID1和LOT_ID2寄存器共同提供一个唯一的32位批次标识码(参见表39和表40)。

SERIAL_NUM寄存器包含一个二进制数, 它代表器件标签上的序列号(参见表42)。SERIAL_NUM中指定的序列号是批次特定的。

表39. LOT_ID1(基地址 = 0x52), 只读

位	描述
[15:0]	批次标识, 二进制码

表40. LOT_ID2(基地址 = 0x54), 只读

位	描述
[15:0]	批次标识, 二进制码

表41. PROD_ID(基地址 = 0x56), 只读

位	描述(默认值 = 0x404C)
[15:0]	产品标识 = 0x404C (16,460)

表42. SERIAL_NUM(基地址 = 0x58), 只读

位	描述
[15:12]	保留, 值不定
[11:0]	序列号, 1至4094 (0xFFE)

状态/错误标志

表43中的DIAG_STAT寄存器包含多个位, 用作闪存更新、通信、超范围、自测和存储器完整性的错误标志。读取此寄存器即可了解各标志的状态, 并将所有位复位为0以监控未来的操作。如果错误条件仍然存在, 错误标志位将在下一个采样周期结束时恢复为1。

表43. DIAG_STAT(基地址 = 0x02), 只读

位	描述(默认值 = 0x0000)
[15:8]	未使用, 始终为0
[9:8]	保留, 值不定(并非始终为0)
7	输入时钟不同步 1 = 失败, 0 = 通过
6	闪存测试 1 = 失败, 0 = 通过
5	自测诊断错误标志 1 = 失败, 0 = 通过
4	传感器超范围 1 = 超范围, 0 = 正常
3	SPI通信故障 1 = 失败, 0 = 通过
2	闪存更新失败 1 = 失败, 0 = 通过
[1:0]	未使用, 始终为0

手动闪存更新

设置GLOB_CMD[3] = 1(DIN = 0xBE08, 参见表44)会触发手动闪存更新(MFU)例程, 用户寄存器设置被复制到手动闪存以提供非易失性备份, 在复位或上电过程中将其载入寄存器。此例程完成后, DIAG_STAT[2]包含通过/失败结果。当此位处于错误状态(等于1)时, 会再次触发MFU, 完成MFU后重新检查DIAG_STAT[2]。如果此标志为0, 则表明最近的一次尝试已完成, 无需其他操作。此错误标志持续存在可能意味着闪存故障。

ADIS16460

SPI通信故障

此标志(DIAG_STAT[3])指示SCLK脉冲总数不是16的整数倍，同时片选($\overline{\text{CS}}$)线为低电平。此标志可能意味着通信故障，因此，它会触发一个重复之前命令的过程或数据完整性验证。

传感器超范围

此错误标志(DIAG_STAT[4])指示某个惯性传感器发生了超出其测量范围的情况。

自测故障

DIAG_STAT[5]位提供自动自测功能的结果，它与GLOB_CMD[2]相关(参见表44)。当此位处于错误状态(等于1)时，会再次触发自动自测(AST)，完成AST后重新检查DIAG_STAT[5]。如果此标志为0，则表明最近的一次尝试已完成，无需其他操作。此错误标志持续存在可能意味着一个或多个惯性传感器有故障。

于1)时，会再次触发自动自测(AST)，完成AST后重新检查DIAG_STAT[5]。如果此标志为0，则表明最近的一次尝试已完成，无需其他操作。此错误标志持续存在可能意味着一个或多个惯性传感器有故障。

闪存测试故障

DIAG_STAT[6](参见表43)包含存储器测试结果，其在设置GLOB_CMD[4] = 1(DIN = 0xBE10，参见表44)之后执行。

输入时钟同步故障

此错误标志(DIAG_STAT[7] = 1)指示SYNC_SCAL值不适合SYNC引脚上的信号频率。

系统功能

全局命令

GLOB_CMD寄存器为多个全局命令提供了触发位。要启动任何此类例程，请将相应位设为1，然后等待执行时间(参见表44)，执行结束后再启动SPI端口上的其他通信。

表44. GLOB_CMD(基地址 = 0x3E)，只写

位	描述	执行时间(最大值)
[15:8]	不用	不适用
7	软件复位	610 ms
[6:5]	不用	不适用
4	闪存测试	36
3	手动闪存更新	70
2	自动自测(AST)	7
1	工厂校准恢复	75 ms
0	陀螺仪偏置校正	1输出数据周期 ¹

¹ DEC_RATE(参见表53)和MSC_CTRL[3:2](参见表50)确定此时间。

软件复位

GLOB_CMD寄存器提供了通过设置GLOB_CMD[7] = 1 (DIN = 0xBE80)来启动处理器复位的功能。

闪存测试

ADIS16460的出厂配置包括执行循环冗余校验(CRC)，它利用IEEE-802.3 CRC32以太网标准方法对程序代码和校准存储器库执行校验。此过程确定这两个存储器库的签名值，并将其写入以下寄存器：CODE_SGNTR(参见表45)和CAL_SGNTR(参见表46)。

表45. CODE_SGNTR(基地址 = 0x64)，只读

位	描述
[15:0]	程序代码签名值，常数

表46. CAL_SGNTR(基地址 = 0x60)，只读

位	描述
[15:0]	校准签名值，常数

GLOB_CMD寄存器提供了通过设置GLOB_CMD[4] = 1 (DIN = 0xBE10，参见表44)来随时启动闪存测试的功能。此测试对程序代码和校准存储器库执行相同的CRC过程，然后将结果写入以下寄存器：CODE_CRC(参见表47)和CAL_CRC(参见表48)。测试结束时，通过/失败结果载入DIAG_STAT[6](参见表43)，“通过”结果(DIAG_STAT[6] = 0)要求满足以下条件：

- CODE_CRC = CODE_SGNTR
- CAL_CRC = CAL_SGNTR

表47. CODE_CRC(基地址 = 0x66)，只读

位	描述
[15:0]	程序代码CRC，连续更新

表48. CAL_CRC(基地址 = 0x62)，只读

位	描述
[15:0]	二进制计数器

手动闪存更新

GLOB_CMD寄存器提供了通过设置GLOB_CMD[3] = 1 (DIN = 0xBE08，另见图24)来将用户配置值存入非易失性闪存的功能。FLASH_CNT寄存器(参见表49)提供闪存更新次数的连续计数值，以便帮助用户管理耐久性额定值(参见表1)。注意：启动GLOB_CMD[0]和GLOB_CMD[1](参见表44)中的命令也会执行闪存更新，导致FLASH_CNT寄存器中的计数值递增。

表49. FLASH_CNT(基地址 = 0x00)，只读

位	描述
[15:0]	二进制计数器

自动自测

ADIS16460中的各惯性传感器有一个自测功能，该功能将一个静电力施加于其物理元件使它移动，以模拟其对旋转(陀螺仪)和线性(加速度计)运动的响应。这种移动使各传感器输出产生可预测且可观测的响应，由此可验证各传感器及其相关信号链的基本功能。通过GLOB_CMD寄存器可启动一个自动过程，它利用这种传感器特性来验证各传感器是否能正常工作。设置GLOB_CMD[2] = 1 (DIN = 0xBE04，参见表44)会触发此AST功能，停止正常数据产生，执行各传感器的自测功能，将其响应与正常响应范围相比较，然后恢复正常数据采样。此例程完成后，DIAG_STAT[5](参见表43)包含通过/失败结果。

输入/输出配置

ADIS16460提供了两个引脚(SYNC和DR)来管理采样和数据收集(参见图5)。MSC_CTRL寄存器提供了多个位来配置这些引脚(参见表50)。

数据就绪(DR)引脚配置

DR引脚提供一个数据就绪信号，指示输出寄存器中是否有新数据，这有助于使处理延迟最小化并避免数据碰撞(参见图5)。图17显示了一个例子，此引脚连接到系统处理器上的中断请求(IRQ)引脚。利用MSC_CTRL[0](参见表50)确定极性，使得系统级中断服务例程(ISR)可以在此信号的适当边沿上触发。例如，在图4所示的例子中，MSC_CTRL[0] = 1，它适合在脉冲正边沿触发的IRQ引脚。

ADIS16460

若DR驱动一个在信号负边沿触发的IRQ引脚，请设置DIN = 0xB2C3 (MSC_CTRL[7:0] = 0xC3)。此代码还会保护线性g补偿(MSC_CTRL[7])和撞击点(MSC_CTRL[6])的出厂默认配置。注意：当器件执行与GLOB_CMD寄存器(参见表44)相关的全局命令时，数据就绪信号停止。

SYNC引脚配置

MSC_CTRL[3:2](参见表50)提供用户可配置的控制，用于选择SYNC引脚/功能(参见图5)支持的四种模式之一：内部采样时钟、外部同步(直接采样控制)、带数据计数器的精密输入同步和采样时间指示。MSC_CTRL[1]确定SYNC引脚有效状态的极性，与其工作模式无关。

表50. MSC_CTRL(基地址 = 0x32)，读/写

位	描述(默认值 = 0x00C1)
[15:7]	不用
7	线性g补偿控制 1 = 使能 0 = 禁用(无线性g补偿)
6	撞击点，见图32 1 = 使能 0 = 禁用(无撞击对准点)
[5:4]	未使用，始终设为0
[3:2]	SYNC功能设置 11 = 采样时间指示(输出) 10 = 带数据计数器的精密输入同步 01 = 直接采样控制(输入) 00 = 禁用(内部采样时钟)
1	SYNC极性(输入或输出) 1 = 上升沿触发采样 0 = 下降沿触发采样
0	DR极性 1 = 高电平有效(数据有效时) 0 = 低电平有效(数据有效时)

采样时间指示

当MSC_CTRL[3:2] = 11(参见表50)时，ADIS16460利用内部采样时钟(2048 SPS)采样并处理数据，SYNC引脚提供一个脉冲信号，其前沿指示惯性传感器的采样时间。设置DIN = 0xB2CD可将ADIS16460配置为此模式，MSC_CTRL寄存器中其余默认设置保持不变。

带数据计数器的精密输入同步

当MSC_CTRL[3:2] = 10(参见表50)时，输出寄存器的更新速率等于输入时钟频率(f_{SYNC})乘以SYNC_SCAL寄存器(参见表51)中的比例因子(H_{SS})。这种模式支持较慢的输入时钟参考，例如来自某些全球定位系统(GPS)的秒脉冲(PPS)信号

或某些视频同步信号。设置DIN = 0xB2C9可将ADIS16460配置为此模式，MSC_CTRL寄存器中其余默认设置保持不变。这种模式下，利用下式计算要写入SYNC_SCAL寄存器中的比例因子(H_{SS})值：

$$H_{\text{SS}} = \text{floor}\left(\frac{32,768}{f_{\text{SYNC}}} - 1\right)$$

例如，使用60 Hz视频同步信号时，应设置DIN = 0xB421和0xB502，使 H_{SS} 等于545 (SYNC_SCAL = 0x0221)：

$$H_{\text{SS}} = \text{floor}\left(\frac{32,768}{60} - 1\right) = \text{floor}(545.13333) = 545$$

使用1 Hz PPS信号时，此寄存器的默认值(0x7FFF)支持这种模式。如果SYNC_SCAL没有默认内容，应设置DIN = 0xB4FF和0xB57F，使得SYNC_SCAL = 0x7FFF。

$$H_{\text{SS}} = \text{floor}\left(\frac{32,768}{1} - 1\right) = \text{floor}(32,767) = 32,767$$

确定 f_{SYNC} 标称值时，务必遵守以下关系：

$$1945 \text{ Hz} \leq H_{\text{SS}} \times f_{\text{SYNC}} \leq 2048$$

在此条件之外工作时，数据采样的输入控制环路可能会失去对输入频率的锁定。DIAG_STAT[7] = 1(参见表43)指示此情况，输入同步信号不再能影响采样时间。

表51. SYNC_SCAL(基地址 = 0x34)，读/写

位	描述(默认值 = 0x7FFF)
15	不用
[14:0]	输入同步比例因子 H_{SS} (MSC_CTRL[3:2] = 10时)。二进制格式，范围 = 255至32,767。

当MSC_CTRL[3:2] = 10时，SMPL_CNTR寄存器利用24576 Hz的速率在每个输入时钟脉冲后提供一个总计数。在各同步输入信号的前沿，SMPL_CNTR寄存器复位至0x0000。

表52. SMPL_CNTR(基地址 = 0x1C)，读/写

位	描述
[15:0]	上一个输入时钟脉冲以来的数据采样数，二进制格式，0x0000 = 0 μ s，40.69 μ s/LSB，各输入时钟脉冲将此值复位为0x0000

直接采样控制

当MSC_CTRL[3:2] = 01(参见表50)时，SYNC引脚上的时钟信号控制输出寄存器的更新速率。设置DIN = 0xB2C5可将ADIS16460配置为此模式，MSC_CTRL寄存器中其余默认设置保持不变。

数字处理配置

陀螺仪/加速度计

图30显示了陀螺仪和加速度计的完整信号处理过程。使用内部采样时钟(MSC_CTRL[3:2] = 00, 参见表50)时, 内部采样系统以2048 SPS的速率产生新数据。DEC_RATE寄存器(参见表53)提供用户可配置输入, 用以针对输出寄存器中的更新速率控制抽取率。例如, 设置DEC_RATE = 0x0009 (DIN = 0xB609, 然后DIN = 0xB700)可将抽取系数设为10, 此设置把更新速率降至204.8 SPS, 并会影响陀螺仪、加速度计和温度输出寄存器中的更新速率。

表53. DEC_RATE(基地址 = 0x36), 读/写

位	描述(默认值 = 0x0000)
[15:11]	未使用, 始终为0
[10:0]	D, 抽取率设置, 线性, 参见图30

数字滤波

FLTR_CTRL寄存器(参见表54)为用户提供对数字低通滤波器的控制。此滤波器包含两个级联均值滤波器, 它们提供Bartlett窗口、FIR滤波器响应(见图29)。例如, 设置FLTR_CTRL[2:0] = 100 (DIN = 0xB804)可将每级设为16抽头。当采用默认采样速率2048 SPS和零抽取(DEC_RATE = 0x00)时, 此值将传感器带宽降至大约41 Hz。

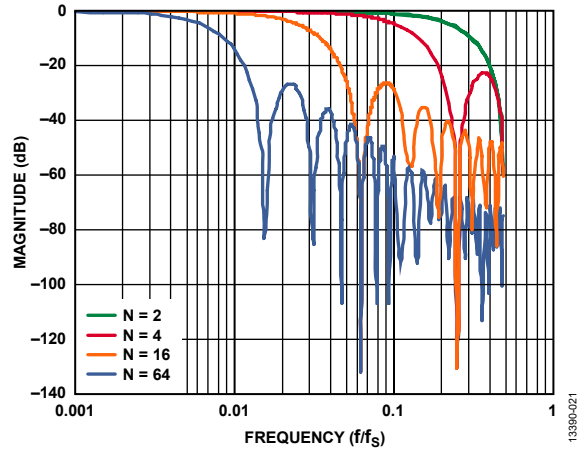


图29. Bartlett窗口、FIR滤波器频率响应(相位延迟 = N个采样点)

表54. FLTR_CTRL(基地址 = 0x38), 读/写

位	描述(默认值 = 0x0500)
[15:9]	保留
[10:8]	传感器偏置估计时间系数(NBE) 设置范围 = 0至6 估计时间 = $(1/2048) \times 2^{(NBE + 11)}$ (秒)
[7:3]	保留
[2:0]	滤波器大小变量B, 设置范围 = 0至6 各级抽头数: $N_B = 2^B$ 滤波器响应参见图29

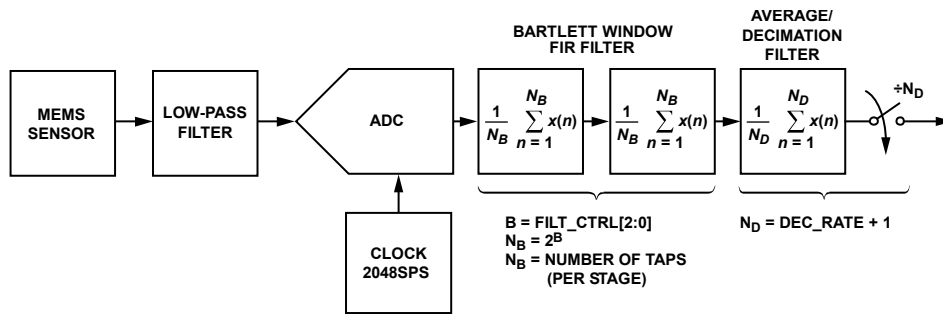


图30. 传感器采样和频率响应框图

校准

ADIS16460的机械结构和组装工艺使每个传感器均具有出色的位置和对准稳定性,即使经受温度循环、冲击、振动和其它环境条件后,仍然稳定如初。工厂校准包括在整个温度范围内对各陀螺仪和加速度计进行动态测试,从而产生传感器特定的校正公式。

陀螺仪

X_GYRO_OFF(见表55)、Y_GYRO_OFF(见表56)和Z_GYRO_OFF(见表57)寄存器分别提供X轴、Y轴和Z轴陀螺仪的用户可编程偏置调整函数。图31显示,这些寄存器各自的偏置校正系数对各传感器的输出寄存器中的数据有直接影响。

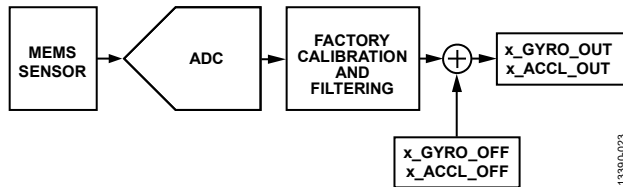


图31. 用户校准, 陀螺仪和加速度计

表55. X_GYRO_OFF(基地址 = 0x40), 读/写

位	描述(默认值 = 0x0000)
[15:0]	X轴, 陀螺仪偏移校正系数, 二进制补码, 1 LSB = 0.000625°/s, 0°/s = 0x0000

表56. Y_GYRO_OFF(基地址 = 0x42), 读/写

位	描述(默认值 = 0x0000)
[15:0]	Y轴, 陀螺仪偏移校正系数, 二进制补码, 1 LSB = 0.000625°/s, 0°/s = 0x0000

表57. Z_GYRO_OFF(基地址 = 0x44), 读/写

位	描述(默认值 = 0x0000)
[15:0]	Z轴, 陀螺仪偏移校正系数, 二进制补码, 1 LSB = 0.000625°/s, 0°/s = 0x0000

陀螺仪偏置误差估计

任何系统级校准功能都必须从估计偏置误差开始。偏置误差估计通常是在ADIS16460处于静态惯性工作状态下进行,涉及到收集陀螺仪数据的时间记录并求均值。与此估计相关的时间记录长度取决于目标精度。艾伦方差关系(参见图7)显示了偏置测量的均值时间与预期精度之间的权衡关系。振动、热梯度和电源不稳定性可能影响该过程的精度。

陀螺仪偏置校正系数

完成偏置估计后,将估计值乘以-1以改变其极性,再将其转换为偏移校正寄存器所需的数字格式(见表55、表56和表57),最后将校正系数写入校正寄存器。例如,设置X_GY-

RO_OFF = 0xFFFF6 (DIN = 0xC1FF, 0xC0F6)即可将X轴偏置降低10 LSB (0.00625°/s)。

单命令偏置校正

设置GLOB_CMD[0] = 1(DIN = 0xBE01, 参见表44)会让ADIS16460自动把来自后顾型连续偏置估计器(CBE)中的值加载到X_GYRO_OFF、Y_GYRO_OFF和Z_GYRO_OFF寄存器。CBE的记录长度/时间与FLTR_CTRL[10:8]位(参见表54)相关。此估计的精度取决于估计期间(由FLTR_CTRL[10:8]给出)能否确保无旋转运动。

加速度计

X_ACCL_OFF(见表58)、Y_ACCL_OFF(见表59)和Z_ACCL_OFF(见表60)寄存器分别提供X轴、Y轴和Z轴加速度计的用户可编程偏置调整函数。图31显示,这些寄存器各自的偏置校正系数对各传感器的输出寄存器中的数据有直接影响。

表58. X_ACCL_OFF(基地址 = 0x46), 读/写

位	描述(默认值 = 0x0000)
[15:0]	X轴, 加速度计偏移校正系数, 二进制补码, 0.03125 mg/LSB, 0 g = 0x0000

表59. Y_ACCL_OFF(基地址 = 0x48), 读/写

位	描述(默认值 = 0x0000)
[15:14]	不用
[13:0]	Y轴, 加速度计偏移校正系数, 二进制补码, 0.03125 mg/LSB, 0 g = 0x0000

表60. Z_ACCL_OFF(基地址 = 0x4A), 读/写

位	描述(默认值 = 0x0000)
[15:14]	不用
[13:0]	Z轴, 加速度计偏移校正系数, 二进制补码, 0.03125 mg/LSB, 0 g = 0x0000

加速度计偏置误差估计

在静态条件下,将各加速度计放在其对重力的响应可以预测的位置。常用方法是测量各加速度计处于峰值响应位置(即±1 g是理想测量位置)时的响应。然后求取+1 g和-1 g加速度计测量结果的均值,以估算残余偏置误差。使用旋转方向上的多个点可以提高响应的精度。

加速度计偏置校正系数

完成偏置估计后,将估计值乘以-1以改变其极性,再将其转换为偏移校正寄存器所需的数字格式(见表58、表59和表60),最后将校正系数写入校正寄存器。例如,设置Y_ACCL_OFF = 0xFFFF4 (DIN = 0xC7FE, 0xC6F4)即可将Y轴偏置降低12 LSB (0.375 mg)。

撞击对准点

设置MSC_CTRL[6] = 1(DIN = 0xB2C1, 参见表50)即可使能此功能并保持DR和SYNC引脚的出厂默认设置。此功能用于以图32所示的点为基准执行撞击点转换。有关MSC_CTRL的更多信息参见表50。

恢复工厂校准

设置GLOB_CMD[1] = 1(DIN = 0xBE02, 参见表44)即可执行工厂校准恢复功能, 将陀螺仪和加速度计偏移寄存器复位到0x0000, 并将所有传感器数据复位到0。该过程以自动更新闪存而结束, 然后返回到正常数据采样和处理。

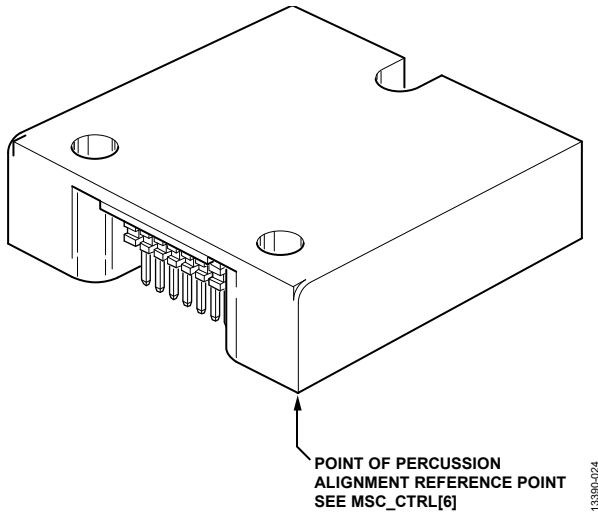


图32. 撞击点物理参考

ADIS16460

应用信息

安装技巧

ADIS16460封装支持安装到印刷电路板(PCB)或刚性外壳上,使用3颗M2或2-56机械螺丝,扭矩介于20到40英寸磅。设计ADIS16460的机械接口时,应避免将不必要的平移应力放在电气连接器上,因为它可能影响惯性传感器的偏置可重复性。当同一PCB也有对接连接器时,安装螺丝可能需要使用直通孔。图33显示了使用CLM-107-02系列中的一种连接器时PCB焊盘设计的详图。

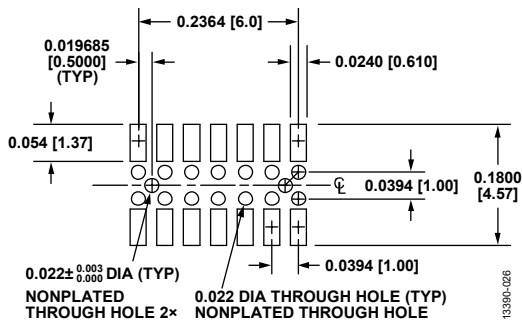


图33. 对接连接器设计详图

电源考虑

启动期间,当VDD达到1.6 V时,内部电源转换系统开始吸取电流。当VDD达到2.35 V时,内部处理器开始初始化。处理器启动后,VDD必须在128 ms内达到2.7 V。此外,若要关断内部处理器,务必使电源降至1.6 V以下。VDD和GND上至少应使用10 μF电容。使用高质量多层陶瓷电容,并使其尽可能靠近ADIS16460连接器,可获得最佳效果。此电容有助于传感器实现最佳噪声性能。

分线板

ADIS16IMU4/PCBZ分线板提供一个扁平电缆接口,用于轻松连接嵌入式处理器开发系统。图34所示为电气原理图,图35所示为此分线板的俯视图。J2对接ADIS16460上的电气连接器,J1轻松对接1 mm扁平电缆系统。

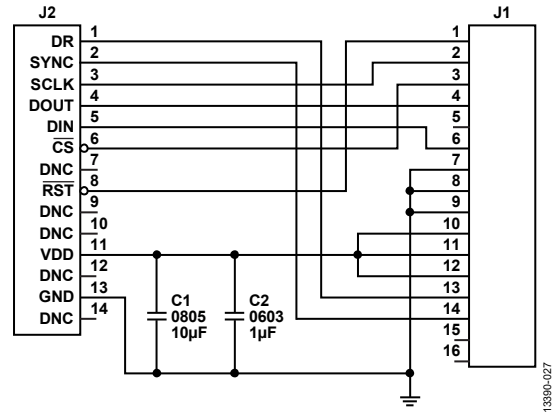


图34. ADIS16IMU4/PCBZ电气原理图

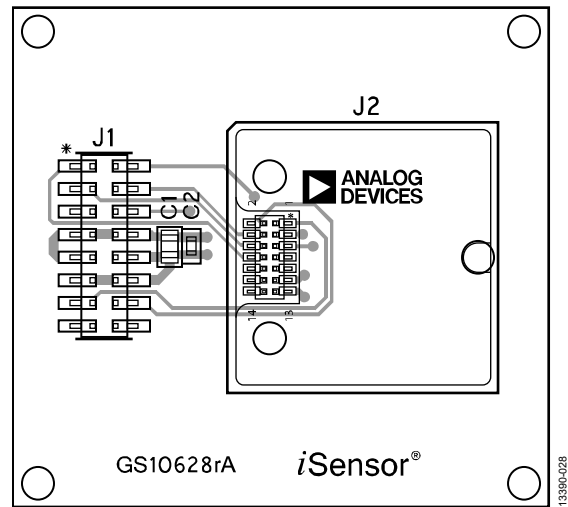


图35. ADIS16IMU4/PCBZ俯视图

J1			
RST	1	2	SCLK
CS	3	4	DOUT
DNC	5	6	DIN
GND	7	8	GND
GND	9	10	VDD
VDD	11	12	VDD
DR	13	14	SYNC
NC	15	16	NC

图36. ADIS16IMU4/PCBZ J1引脚分配

基于PC的评估工具

ADIS16IMU4/PCBZ提供一种简单的方式来将ADIS16460连接到EVAL-ADIS评估系统，由此便可利用PC来评估基本功能和性能。欲了解更多信息，请访问以下wiki指南：[在PC上评估ADIS1646x](#)。

估计相关位数

主要输出数据寄存器为各惯性传感器提供16位分辨率，当内部滤波器不使用时，以及当收集ADIS16460载入输出寄存器的每个样本时，该分辨率对确保传感器关键特性是足够的。对于使用内部滤波的系统，辅助输出数据寄存器捕捉来自这些滤波器中的累加函数的位增长。此位增长的幅度取决于这两个寄存器的设置。利用变量设置(表53中的D、表54中的B)和以下公式计算求和函数的总数目(NS)，以及数据路径的相关位增长(N_{BG})：

$$NS = D + 2^B$$

$$N_{BG} = \sqrt{NS}$$

例如，若 $B = 5$ 且 $D = 4$ ，则内部数据路径的位增长为6位，这意味着各辅助寄存器仅有高6位(例如X_GYRO_LOW [15:10])具有相关性。

$$NS = D + 2^B = 4 + 2^5 = 36 \text{ samples}$$

$$N_{BG} = \sqrt{NS} = \sqrt{36} = 6 \text{ bits}$$

当确定系统处理器中的整个数据路径需要多少位时，各传感器的稳定性也值得考虑。例如，保留陀螺仪辅助寄存器的6个最高有效位可提供0.000078125°/秒的数字分辨率，或大约0.28°/小时，这明显低于ADIS16460陀螺仪的运行中偏置稳定性。

