

### 特性

在单芯片上实现完整的角速度陀螺仪

$\pm 300^\circ/\text{s}$  角速率检测

可在宽频率范围内提供高振动抑制特性

极佳的零点失调稳定性：25°/小时

内部温度补偿

抗冲击能力：2000 g

16 位数据字 SPI 数字输出

低噪声和低功耗

3.3 V 和 5 V 电源供电

工作温度：-40°C 至 +105°C

超小、轻便、RoHS 兼容

两种封装选择

低成本 SOIC\_CAV 封装，适合于偏航角速度（Z 轴）响应

创新型陶瓷垂直贴装封装，适合于俯仰、滚动、偏航响应

### 应用

旋转检测医疗应用

旋转检测工业和仪表仪器

高性能平台稳定

### 概述

ADXRS450 是一款角速率传感器（陀螺仪），主要用于工业、医疗、仪器仪表、稳定和其它高性能应用。它采用先进的差分四路传感器设计，可抑制线性加速度的影响，能够在极其恶劣的冲击和振动环境中工作。

ADXRS450 采用内部连续自测架构。机电系统的完整性通过以下方法来检查：对检测结构施加一个高频静电力，以便产生一个速率信号，将该速率信号与基带速率数据区分开来，并进行内部分析。

ADXRS450 能够检测高达  $\pm 300^\circ/\text{s}$  的角速率。角速率数据以 16 位字的形式提供，作为 32 位 SPI 消息的一部分。

ADXRS450 提供 16 引脚空腔塑封 SOIC (SOIC\_CAV) 和 SMT 兼容垂直贴装 (LCC\_V) 两种封装，能够在 3.3 V 至 5 V 的宽电压范围内和 -40°C 至 +105°C 的温度范围内工作。

### 功能框图

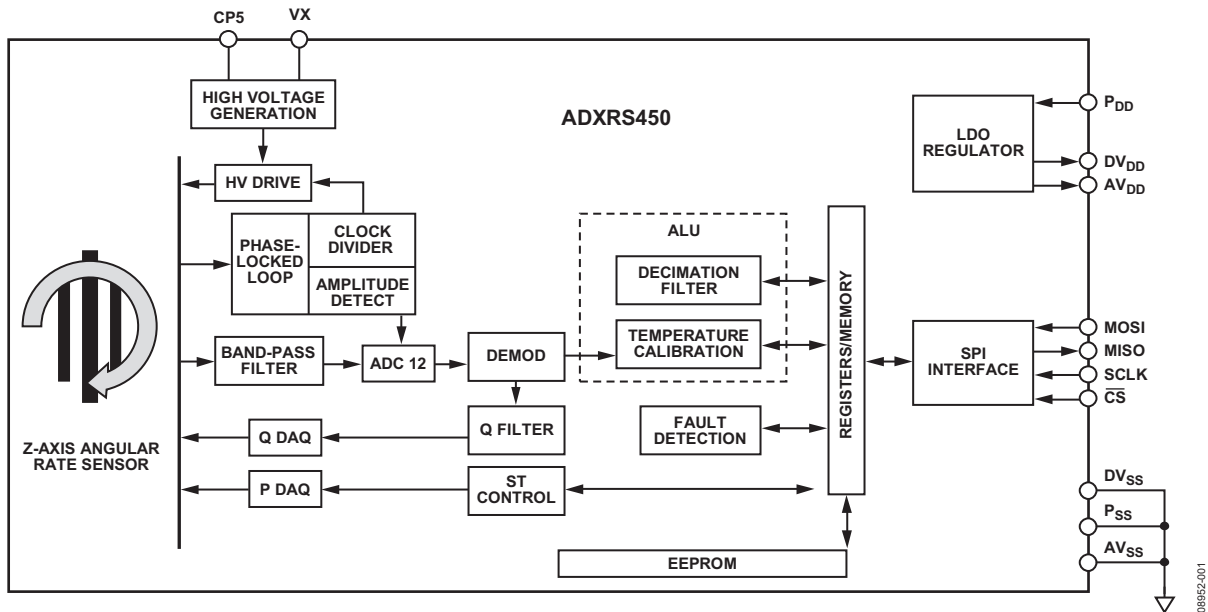


图 1.

### 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.

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

©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	机械安装注意事项 .....	10
应用 .....	1	应用电路 .....	10
概述 .....	1	ADXRS450 信号链时序 .....	10
功能框图 .....	1	SPI 通信协议 .....	12
修订历史 .....	2	命令 / 响应 .....	12
技术规格 .....	3	SPI 通信特性 .....	13
绝对最大额定值 .....	4	SPI 应用 .....	14
热阻 .....	4	SPI 速率数据格式 .....	19
速率敏感轴 .....	4	存储器映射和寄存器 .....	20
ESD 警告 .....	4	存储器映射 .....	20
引脚配置和功能描述 .....	5	存储器寄存器定义 .....	21
典型工作特性 .....	7	封装方向和布局信息 .....	23
工作原理 .....	9	封装标识码 .....	26
连续自测 .....	9	外形尺寸 .....	27
应用信息 .....	10	订购指南 .....	28
校准性能 .....	10		

## 修订历史

### 2011 年 7 月—修订版 0 至修订版 A

更改订购指南 .....	28
--------------	----

### 2011 年 1 月—修订版 0 : 初始版

## 技术规格

技术规格条件：T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> 至 T<sub>MAX</sub>，P<sub>DD</sub> = 5 V，角速率 = 0°/秒，带宽 = 80 Hz ±1 g，连续自测功能开启。

表 1

参数	测试条件 / 注释	符号	最小值	典型值	最大值	单位
测量范围	满量程范围	FSR	±300		±400	°/秒
灵敏度	见图 2					
标称灵敏度				80		LSB/°/秒
灵敏度容差				±3		%
非线性度 <sup>1</sup>	最佳拟合直线			0.05	0.25	% FSR rms
跨轴灵敏度 <sup>2</sup>				±3		%
零点						
零点精度				±3		°/秒
噪声性能						
速率噪声密度	T <sub>A</sub> = 25°C			0.015		°/秒 /√Hz
低通滤波器						
截止 (-3 dB) 频率	f <sub>0</sub> /200, 见图 6	f <sub>LP</sub>		80		Hz
群延迟 <sup>3</sup>	f = 0 Hz	t <sub>LP</sub>	3.25	4	4.75	ms
抗冲击和振动抗性						
线性加速度灵敏度	DC 至 5 kHz			0.03		°/秒 /g
振动校正				0.003		°/秒 /g <sup>2</sup>
自测	参见“连续自测”部分					
幅度				2559		LSB
故障寄存器阈值	与 LOCST 数据比较		2239		2879	LSB
传感器数据状态阈值	与 LOCST 数据比较		1279		3839	LSB
频率	f <sub>0</sub> /32	f <sub>ST</sub>		500		Hz
ST 低通滤波器						
- 3 dB 频率	f <sub>0</sub> /800, 见图 7			2		Hz
群延迟 <sup>3</sup>			52	64	76	ms
SPI 通信						
时钟频率					8.08	MHz
高电压输入	MOSI, $\overline{CS}$ , SCLK		0.85 × P <sub>DD</sub>		P <sub>DD</sub> + 0.3	V
低电压输入	MOSI, $\overline{CS}$ , SCLK		- 0.3		P <sub>DD</sub> × 0.15	V
低输出电压	MISO, 电流 = 3 mA				0.5	V
高输出电压	MISO, 电流 = - 2 mA		P <sub>DD</sub> - 0.5			V
上拉电流	$\overline{CS}$ , P <sub>DD</sub> = 3.3 V, $\overline{CS}$ = 0.75 × P <sub>DD</sub>			50	200	μA
	$\overline{CS}$ , P <sub>DD</sub> = 5 V, $\overline{CS}$ = 0.75 × P <sub>DD</sub>			70	300	μA
存储器寄存器	参见“存储器寄存器定义”部分					
温度传感器						
45°C 值				0		LSB
比例因子				5		LSB/°C
4 通道、ST、速率、DNC 寄存器						
比例因子				80		LSB/°/秒
电源						
电源电压		P <sub>DD</sub>	3.15		5.25	V
静态电源电流		I <sub>DD</sub>		6.0	10.0	mA
开启时间	上电至最终值的 0.5%/秒			100		ms
温度范围	与封装类型无关	T <sub>MIN</sub> , T <sub>MAX</sub>	- 40		+105	°C

<sup>1</sup> 通过 ADI 公司的产品特性保证最大值。

<sup>2</sup> 跨轴灵敏度规格不含印刷电路板 (PCB) 上因器件安装而引起的效应。

<sup>3</sup> 通过设计保证最小和最大值。

## 绝对最大额定值

表 2

参数	额定值
加速度 (任意轴, 0.5 ms)	
无电	2000 g
有电	2000 g
电源电压 (P <sub>DD</sub> )	- 0.3 V 至 +6.0 V
输出短路持续时间 (任意引脚接地)	未定
温度范围	
工作温度	
LCC_V 封装	- 40°C 至 +125°C
SOIC_CAV 封装	- 40°C 至 +125°C
存储温度	
LCC_V 封装	- 65°C 至 +150°C
SOIC_CAV 封装	- 40°C 至 +150°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

$\theta_{JA}$  针对最差条件, 即器件焊接在印刷电路板 (PCB) 上以实现表贴封装。

表 3. 热阻

封装类型	$\theta_{JA}$	$\theta_{JC}$	单位
16 引脚 SOIC_CAV	191.5	25	°C/W
14 引脚陶瓷 LCC_V	185.5	23	°C/W

### 速率敏感轴

ADXRS450 提供两种封装选择。SOIC\_CAV 封装配置适合需要 z 轴 (偏航角) 速率检测器件的应用。

垂直贴装封装 (LCC\_V) 适合需要在平行于 PCB 平面的轴 (俯仰和滚动) 上执行速率检测的应用。详情参见图 2。

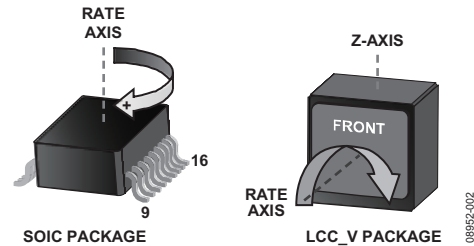


图 2. 顺时针旋转时速率信号增大

### 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

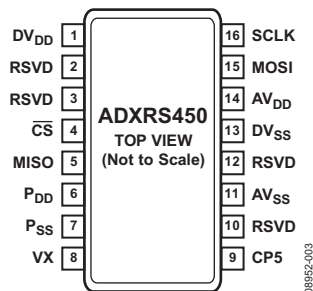


图 3. SOIC\_CAV 引脚配置

表 4. 14 引脚 SOIC\_CAV 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	描述
1	DV <sub>DD</sub>	数字调节电压。应用电路图参见图 21。
2	RSVD	保留。该引脚必须连接到 DV <sub>SS</sub> 。
3	RSVD	保留。该引脚必须连接到 DV <sub>SS</sub> 。
4	$\overline{CS}$	片选。
5	MISO	主机输入 / 从机输出。
6	P <sub>DD</sub>	电源电压。
7	P <sub>SS</sub>	开关调节器接地。
8	VX	高压开关节点。应用电路图参见图 21。
9	CP5	高压电源。应用电路图参见图 21。
10	RSVD	保留。该引脚必须连接到 DV <sub>SS</sub> 。
11	AV <sub>SS</sub>	模拟地。
12	RSVD	保留。该引脚必须连接到 DV <sub>SS</sub> 。
13	DV <sub>SS</sub>	数字信号地。
14	AV <sub>DD</sub>	模拟调节电压。应用电路图参见图 21。
15	MOSI	主机输出 / 从机输入。
16	SCLK	SPI 时钟。

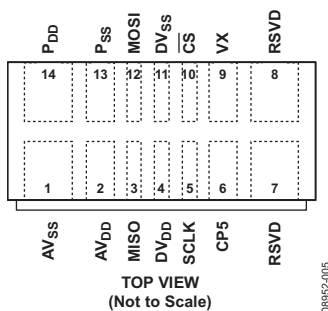


图 4. LCC\_V 引脚配置

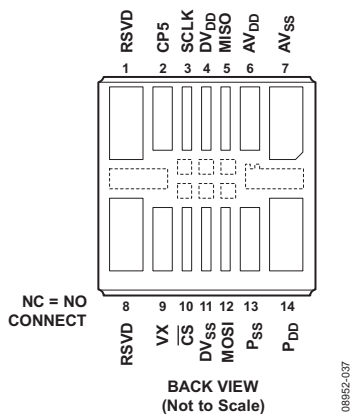


图 5. LCC\_V 引脚配置，水平布局

表 5.14 引脚 LCC\_V 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	描述
1	AV <sub>SS</sub>	模拟地。
2	AV <sub>DD</sub>	模拟调节电压。应用电路图参见图 22。
3	MISO	主机输入 / 从机输出。
4	DV <sub>DD</sub>	数字调节电压。应用电路图参见图 22。
5	SCLK	SPI 时钟。
6	CP5	高压电源。应用电路图参见图 22。
7	RSVD	保留。该引脚必须连接到 DV <sub>SS</sub> 。
8	RSVD	保留。该引脚必须连接到 DV <sub>SS</sub> 。
9	VX	高压开关节点。应用电路图参见图 22。
10	$\overline{CS}$	片选。
11	DV <sub>SS</sub>	数字信号地。
12	MOSI	主机输出 / 从机输入。
13	P <sub>SS</sub>	开关调节器接地。
14	P <sub>DD</sub>	电源电压。

## 典型工作特性

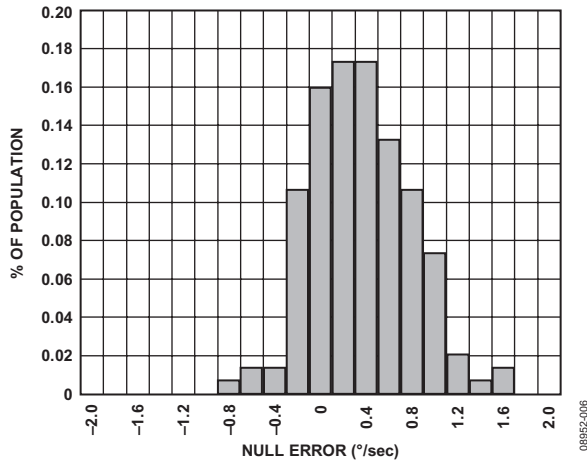


图 6. SOIC\_CAV 在 25°C 时的零点误差

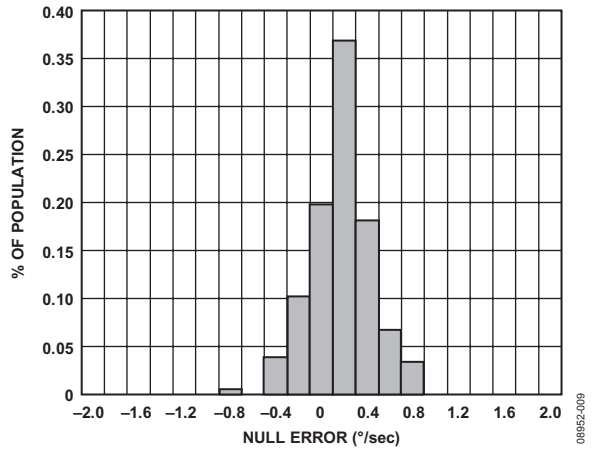


图 9. LCC\_V 在 25°C 时的零点误差

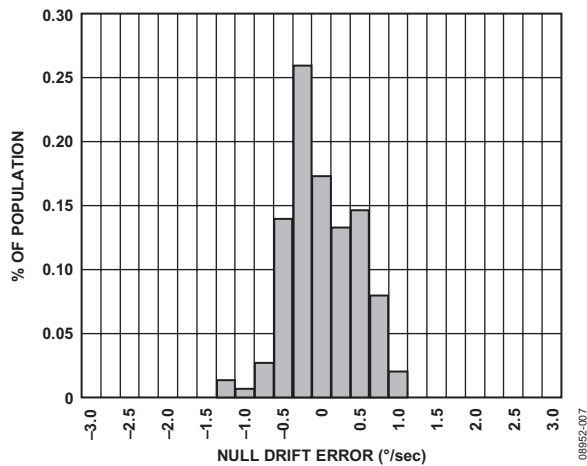


图 7. SOIC\_CAV 在整个温度范围内的零点漂移

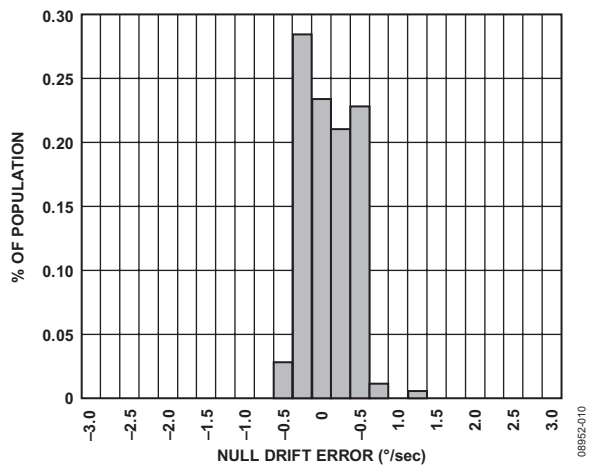


图 10. LCC\_V 在整个温度范围内的零点漂移

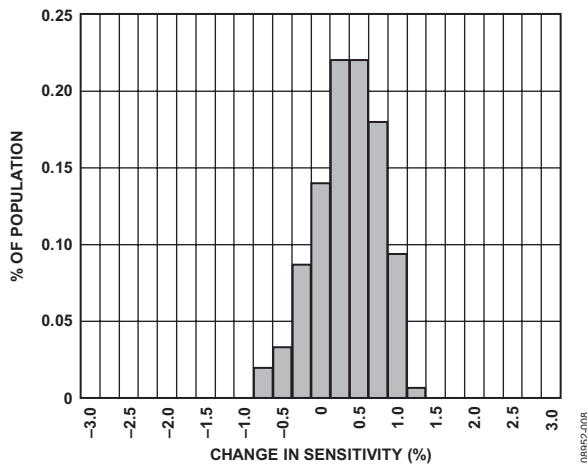


图 8. SOIC\_CAV 在 25°C 时的灵敏度误差

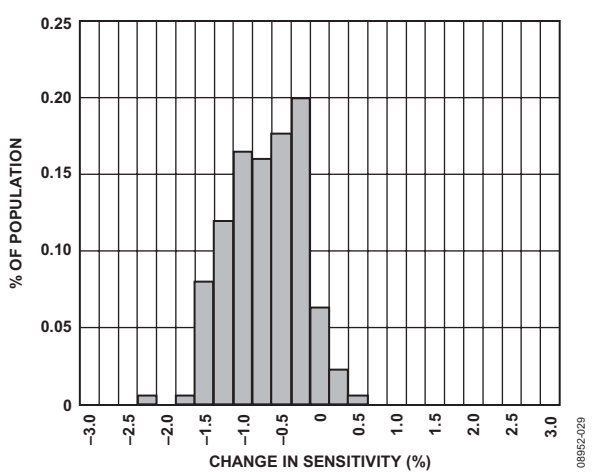


图 11. LCC\_V 在 25°C 时的灵敏度误差

# ADXRS450

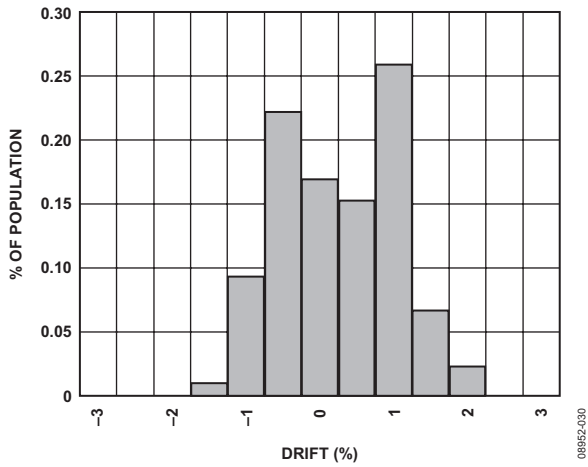


图 12. SOIC\_CAV 在整个温度范围内的灵敏度漂移

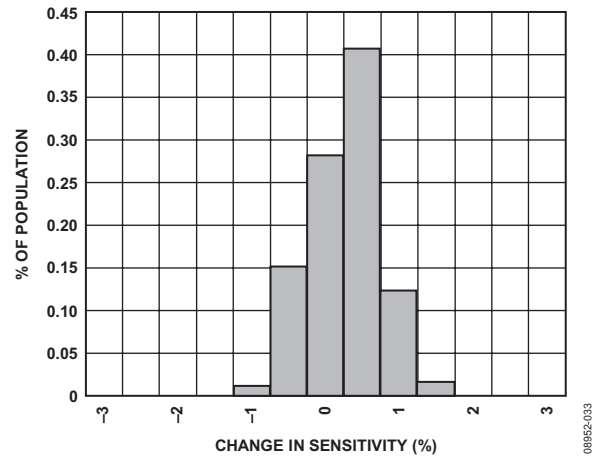


图 15. LCC\_V 在整个温度范围内的灵敏度漂移

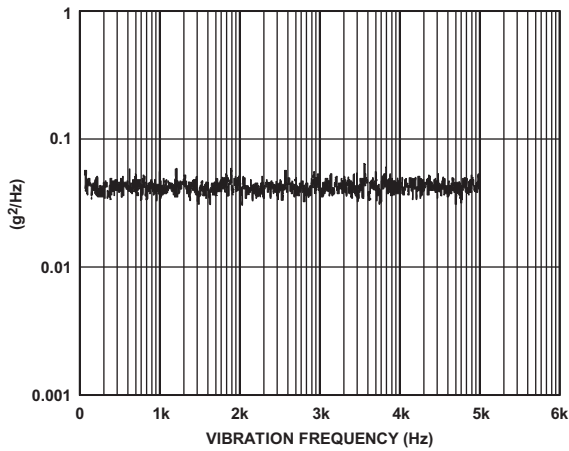


图 13. 对 15 g rms 随机振动的典型响应 (50 Hz 至 5 kHz)

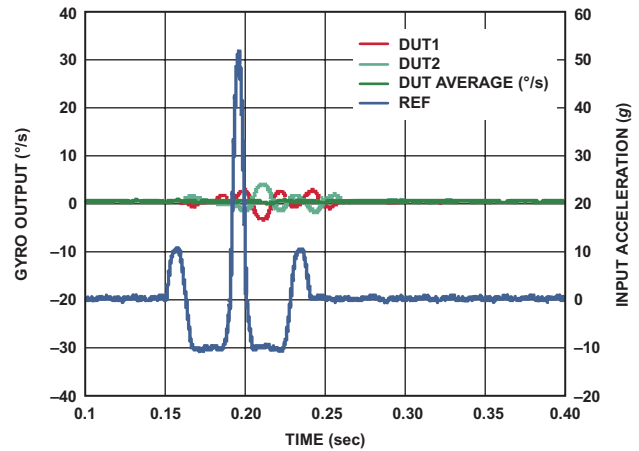


图 16. 典型冲击响应

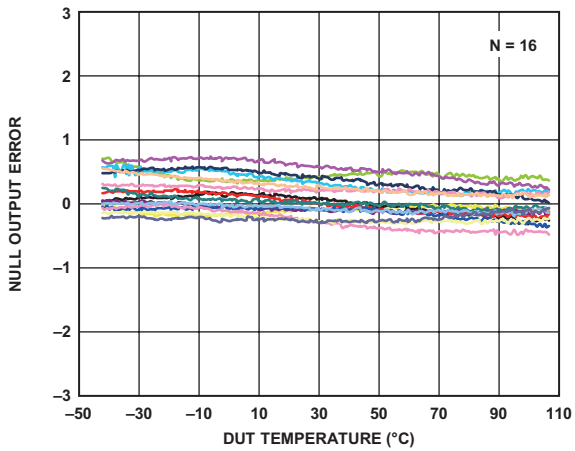


图 14. 整个温度范围内的零点输出 (器件焊接在 PCB 上)

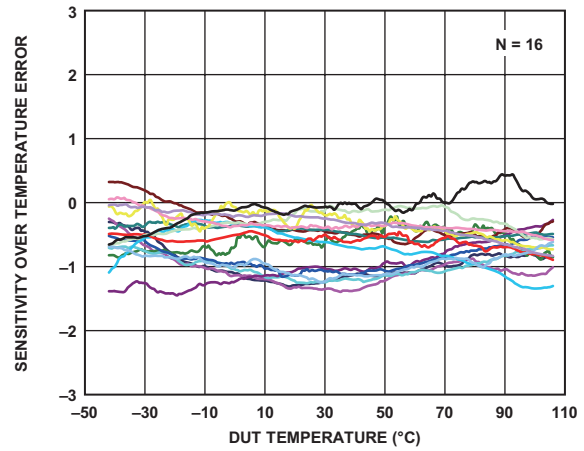


图 17. 整个温度范围内的灵敏度 (器件焊接在 PCB 上)



## 工作原理

ADXR450 使用谐振器陀螺仪原理工作。图 18 是四种多晶硅检测结构之一的简化图。每种检测结构均包含一个扰动框架，通过静电驱动到谐振状态。这会产生必要的速度，从而在旋转期间产生科里奥利力。使用 SOIC\_CAV 封装时，ADXR450 可用于检测 z 轴（偏航）角速率；而垂直贴装封装 (LCC\_V) 允许器件检测同一 PCB 上的俯仰和滚动角速率。

当检测结构旋转时，产生的科里奥利力耦合至外部检测框架，该框架包含置于固定拾拾器指之间的可动指。这样便形成一个容性拾拾结构来检测科氏运动。检测到的信号被馈送至一系列增益和解调级，产生电速率信号输出。四路传感器设计以机械方式耦合四种检测结构，使外部重力表现为共模信号，而后可通过 ADXR450 中实施的完全差分架构来消除，因而可抑制线性加速度和角加速度，包括外部重力和振动。

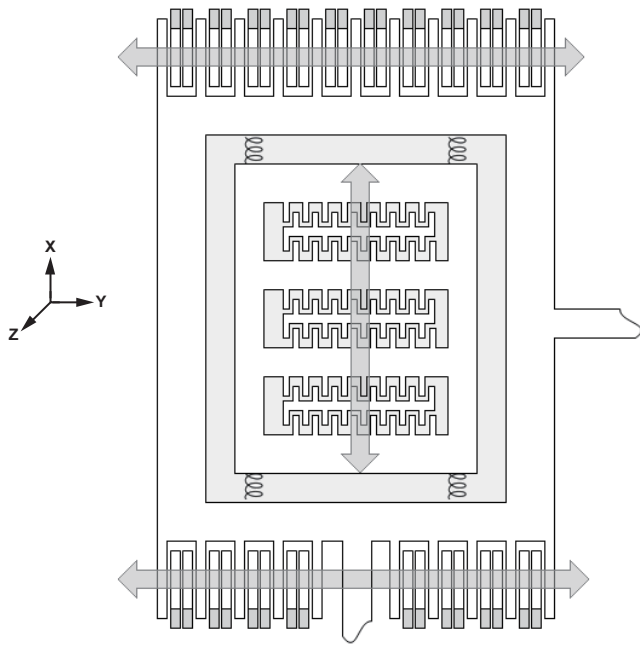


图 18. 简化陀螺仪检测结构

谐振器的工作电压为 22.5 V（典型值）。由于大多数应用一般只提供 5 V 电压，因此芯片内包括一个开关调节器。

## 连续自测

ADXR450 陀螺仪使用完整的机电自测功能。静电力施加于陀螺仪框架后造成容性检测指偏转。这一偏转恰好等于外部速率输入引起的偏转。波束结构的输出与真实速率输出信号均由相同的信号链进行处理，从而提供完整的电气和机械成分。

在器件以高于输出带宽的速率工作期间，机电自测连续执行。自测程序产生等效的正负速率偏转。该信息可被滤除，对解调速率输出无甚影响。

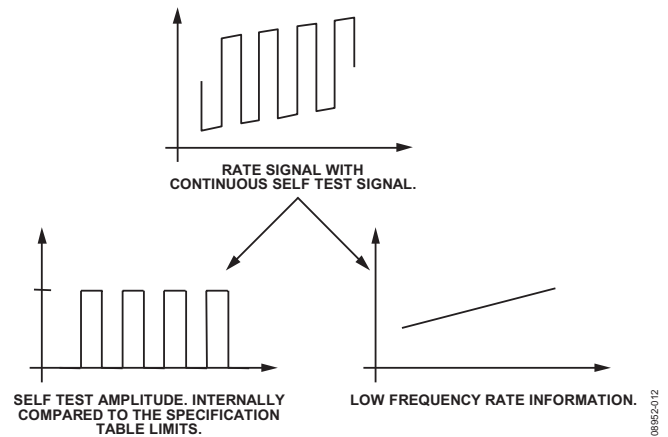


图 19. 连续自测解调

将正负自测偏转间的差异幅度滤波至 2 Hz，连续监控并与硬编码自测限值进行比较。如果测得的幅度超过这些限值（如表 1 所列），则根据自测误差幅度将两种误差条件之一置位。对于不太严重的自测误差幅度，故障寄存器的 CST 位置位；不过，传感器数据响应的状态位 (ST[1:0]) 仍设置为 0b01，以表示传感器数据有效。对于较严重的自测误差幅度，故障寄存器的 CST 位置位，且传感器数据响应的状态位 (ST[1:0]) 设置为 0b00，以表示传感器数据无效。表 1 列出了两种故障条件的阈值。如果需要，用户可以通过向自测存储器寄存器（地址 0x04）发出读取命令来访问自测信息。有关误差报告的更多信息，请参见“SPI 通信协议”部分。

## 应用信息

### 校准性能

ADXRS450 陀螺仪使用内部 EEPROM 存储器来存储温度校准信息。校准信息在工厂测试期间编码到器件中。校准数据用于执行整个温度范围内的失调、增益和自测校正。由于该信息存储于内部，因此客户无需执行系统级温度校准。

### 机械安装注意事项

ADXRS450 应安装在 PCB 牢固安装点附近位置。如图 20 所示，如将 ADXRS450 安装在无支撑的 PCB 位置（杠杆末端或弹簧床中间），由于陀螺仪受 PCB 谐振影响，可能会导致明显测量误差。将陀螺仪安装在牢固安装点附近有助于确保陀螺仪中的 PCB 谐振高于内部电子元件发生有害混叠的频率。要确保混叠信号不会耦合至基带测量范围，模块应设计成第一个系统级谐振发生于高于 800 Hz 的频率下。

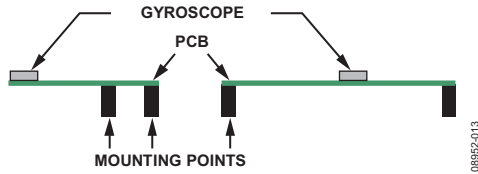


图 20. 错误放置的陀螺仪

### 应用电路

图 21 和图 22 显示了陀螺仪 ADXRS450 的推荐应用电路。这些应用电路为可用的封装类型提供了连接参考。注意，DV<sub>DD</sub>、AV<sub>DD</sub> 和 P<sub>DD</sub> 通过 1 μF 电容单独接地；请勿将这些电源引脚连接在一起。此外，必须连接外部二极管和电感，内部分流调节器才能正常工作。这些元件（如表 6 所列）让内部谐振器可以驱动电压到达所需电平，如“技术规格”部分所列。

表 6. 内部分流调节器元件

元件	数量	描述
电感	1	470 μH
二极管	1	>24 V 击穿电压
电容	3	1 μF
电容	1	100 nF

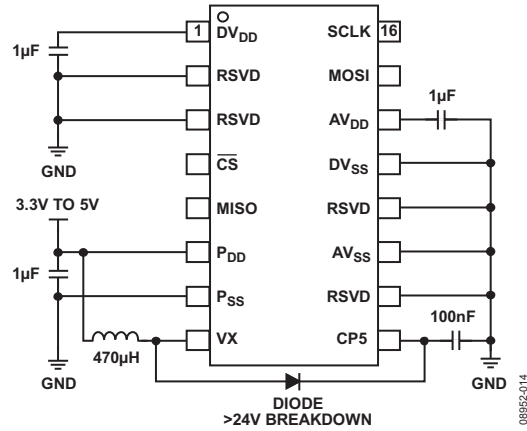


图 21. 推荐应用电路，SOIC\_CAV 封装

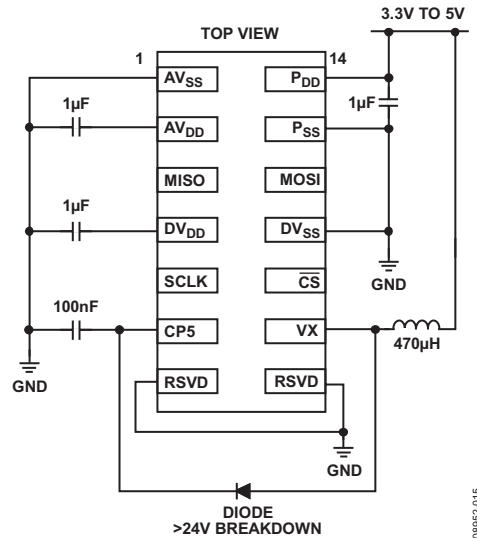


图 22. 推荐应用电路，陶瓷 LCC\_V 封装

### ADXRS450 信号链时序

ADXRS450 主要信号链如图 23 所示；它是生成并处理速率数据所需的一系列功能电路模块。机电元件的顺序决定器件将外部速率输入激励转化为发送到主器件的 SPI 字的速度。群延迟是指低通滤波器输出达到外部速率输入 10% 以内所需的时间，与滤波器特性成函数关系，图中为 ~4 ms。SPI 处理时序和将速率数据存入内部器件寄存器会导致延迟进一步增加。图 23 解析了此延迟，并呈现了信号链各元件的延迟。

数据速率 LPF 的传递函数由下式给出：

$$\left[ \frac{1 - Z^{-64}}{1 - Z^{-1}} \right]^2$$

其中：

$$T = \frac{1}{f_0} = \frac{1}{16 \text{ kHz (typ)}}$$

连续自测 LPF 的传递函数由下式给出：

$$\frac{1}{64 - 63Z^{-1}}$$

其中：

$$T = \frac{16}{f_0} = 1 \text{ ms (typ)}$$

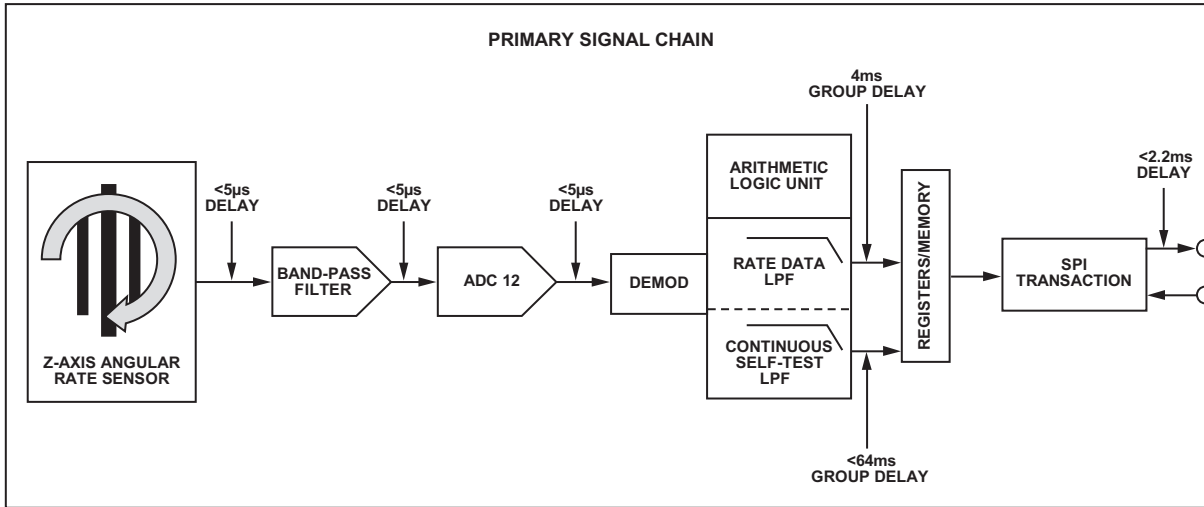


图 23. 主要信号链和相关延迟

08952-016

## SPI 通信协议

### 命令 / 响应

输入 / 输出通过一个 32 位、命令 / 响应 SPI 接口处理。该接口的命令设置和格式定义如下：

$$\text{时钟相位} = \text{时钟极性} = 0$$

此外，初始命令的器件响应为 0x00000001。这可以防止初始命令 / 响应交换时传输随机数据至主器件。

表 7. SPI 信号

信号	符号	描述
串行时钟	SCLK	CS 有效期间恰好为 32 个时钟周期
片选	$\overline{\text{CS}}$	低电平有效
主机输出 从机输入	MOSI	数据从主控制器发送到陀螺仪器件
主机输入 从机输出	MISO	数据从陀螺仪发送到主控制器

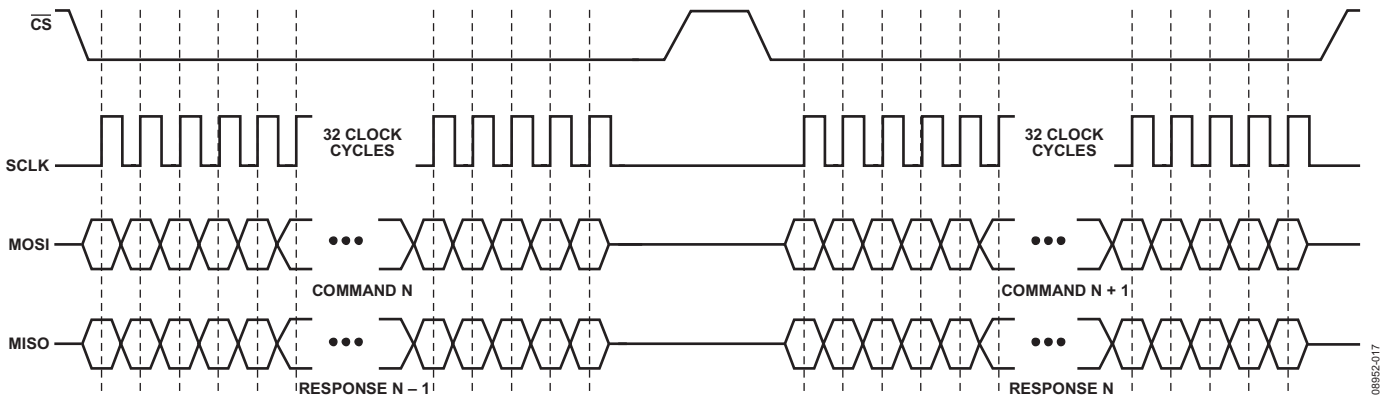


图 24. SPI 协议

表 8. SPI 命令

命令	位																																	
	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
传感器数据	SQ1	SQ0	1	SQ2																												CHK	P	
读取	1	0	0	SM2	SM1	SM0	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0																			P
写入	0	1	0	SM2	SM1	SM0	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		P	

表 9. SPI 响应

命令	位																																	
	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
传感器数据	SQ2	SQ1	SQ0	P0	ST1	ST0	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0				PLL	Q	NVM	POR	PWR	CST	CHK	P1	
读取	0	1	0	P0	1	1	1	0	SM2	SM1	SM0	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0							P1
写入	0	0	1	P0	1	1	1	0	SM2	SM1	SM0	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0							P1
R/W 误差	0	0	0	P0	1	1	1	0	SM2	SM1	SM0	0	0	SPI	RE	DU										PLL	Q	NVM	POR	PWR	CST	CHK	P1	

## SPI 通信特性

注意表 10 的下列条件：

- 通过特性保证所有最小和最大时序值。
- 显示的所有时序均相对于 10%  $V_{DD}$  和 90% 的实际施加电压波形。
- 所有最小和最大时序值在  $3.0\text{ V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{ V}$  内有效。
- 所有信号的容性负载假定为  $\leq 80\text{ pF}$ 。
- 环境温度为  $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +105^\circ\text{C}$ 。
- MISO 上拉电阻为  $47\text{ k}\Omega$  或  $110\text{ }\mu\text{A}$ 。
- 顺序传输延迟在受 EEPROM 限制的任何写入操作后增加至  $17\text{ ms}$ 。

表 10. SPI 命令 / 响应时序特性

符号	描述	最小值	最大值	单位
$f_{OP}$	SPI 工作频率		8.08	MHz
$t_{SCLKH}$	时钟 (SCLK) 高电平时间	$1/2t_{SCLK} - 13$		ns
$t_{SCLKL}$	时钟 (SCLK) 低电平时间	$1/2t_{SCLK} - 13$		ns
$t_{SCLK}$	SCLK 周期	123.7		ns
$t_F$	时钟 (SCLK) 下降时间	5.5	13	ns
$t_R$	时钟 (SCLK) 上升时间	5.5	13	ns
$t_{SU}$	数据输入 (MOSI) 建立时间	37		ns
$t_{HIGH}$	数据输入 (MOSI) 保持时间	49		ns
$t_A$	数据输出 (MISO) 访问时间		20	ns
$t_V$	SCLK 后数据输出 (MISO) 有效时间		20	ns
$t_{LAG}$	数据输出 (MISO) 迟滞时间	0		ns
$t_{DIS}$	数据输出 (MISO) 禁用时间		40	ns
$t_{LEAD}$	使能 ( $\overline{CS}$ ) 前置时间	$1/2t_{SCLK}$		ns
$t_{LAG}$	使能 ( $\overline{CS}$ ) 迟滞时间	$1/2t_{SCLK}$		ns
$t_D$	顺序传输延迟	0.1		ns
$f_0$	陀螺仪谐振频率	13	19	kHz

# ADXRS450

## SPI 应用

### 器件数据锁存

为了从 ADXRS450 快速采集数据，设计中实施了器件数据锁存，如图 26 所示。片选 ( $\overline{CS}$ ) 置位后，器件内的数据锁

存至存储器中。收到完整的 MOSI 命令且  $\overline{CS}$  复位后，即将适当数据移入 SPI 端口寄存器，以便进行下一命令 / 响应交换。这可以实现 0.1 ms 的极快顺序传输延迟（参见表 10）。请注意，作为设计中的防范措施，发送的数据仅

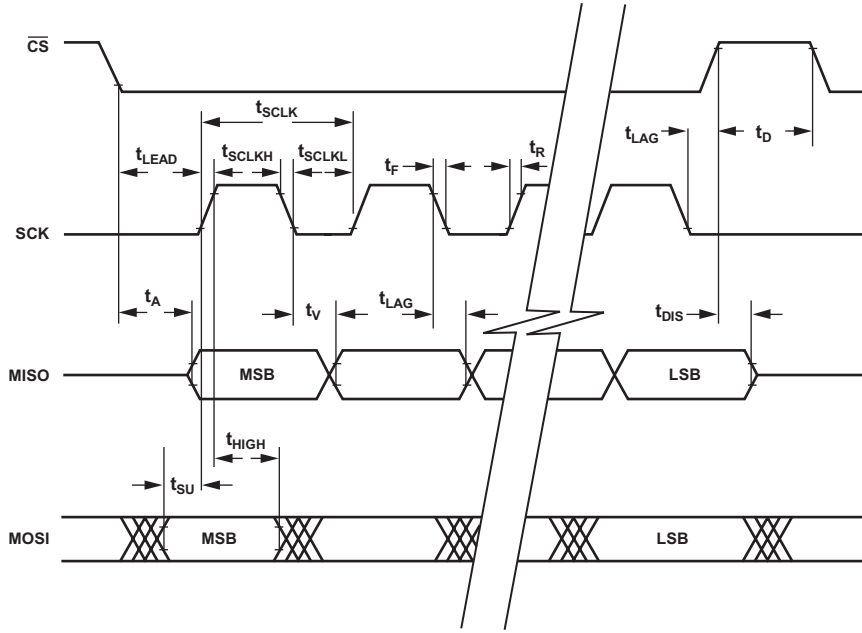


图 25. SPI 时序

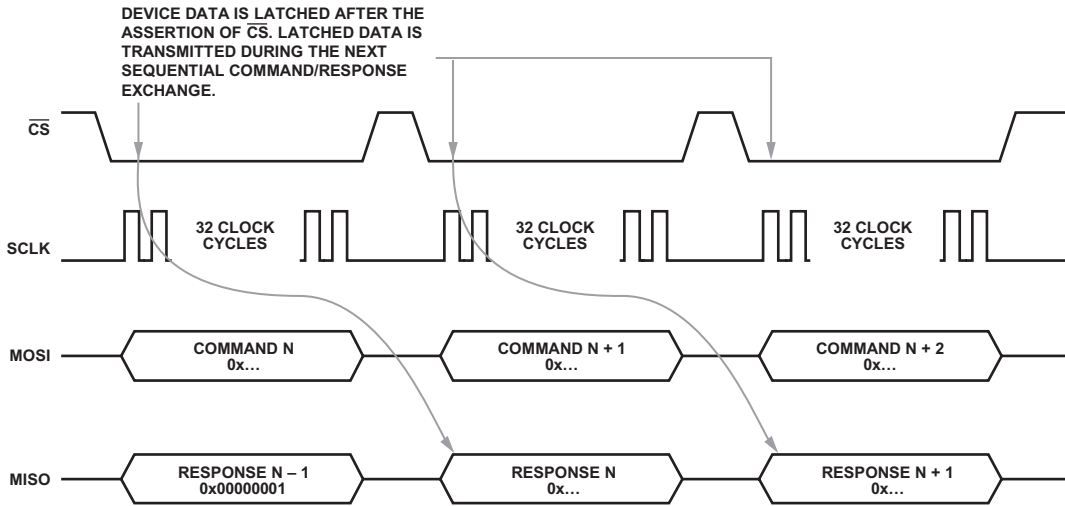


图 26. 器件数据锁存

## 命令 / 响应——位定义

表 11. 快速指南—SPI 接口的位定义

位	描述
SQ2 至 SQ0	序列位 (来自主机)
SM2 至 SM0	传感器模块位 (来自主机)
A8 至 A0	寄存器地址
D15 至 D0	数据
SPI	SPI 命令 / 响应
ST1 至 ST0	状态位
P	命令奇校验
P0	响应奇校验位 [31:16]
P1	响应奇校验位 [31:0]
RE	请求误差
DU	数据不可用

### SQ2 至 SQ0

此域让系统可以同步从多个传感器接收的数据样本。为便于正确同步，ADXRS450 陀螺仪在从请求接收响应序列时会在其中包括 SQ[2:0] 域。

### SM2 至 SM0

这是来自主器件的传感器模块位。这些位未在 ADXRS450 内实施，而是全部硬编码为 000。

### A8 至 A0

A8 至 A0 位表示读取器件数据或写入信息的存储器地址。只有访问存储器寄存器时，才应由主机提供这些位，而在所有传感器数据请求中则予以忽略。有关可用存储器寄存器的完整描述，请参见“存储器寄存器定义”部分。

### D15 至 D0

16 位器件数据可包含下列任意项：

- 主机——要写入存储器寄存器的数据，如 A8 至 A0 部分所规定。
- 从机——传感器速率输出数据。
- 从机——从存储器寄存器读取的器件数据（如 A8 至 A0 部分所规定）以及来自下一个寄存器的数据。
- 从机——对于写入命令，写入指定存储器寄存器的 16 位数据反射回至主器件，用于相关性。

### SPI

SPI 位在下列任意情况中置位：发送的位过多 / 不足，或者控制模块发出的消息包含奇偶校验错误。此外，传感器数据请求期间的任何错误均会导致器件发生读 / 写错误。

### ST1 至 ST0

状态位 (ST1 和 ST0) 用于向主器件通知响应消息内含的数据类型。状态位的解码如表 12 所示。

表 12. 状态位代码定义

ST1:ST0	位内容 [D15:D0]
00	传感器数据响应的误差数据
01	有效传感器数据
10	传感器自测数据
11	读 / 写响应

有两种独立条件可使 ST 位在传感器数据响应期间设置为 0b00：自测或 PLL。自测响应与标称值的差异足够大。有关相应限制，请参见“技术规格”部分。传感器数据响应为 PLL 时，PLL 故障有效。

### P

所有主机至从机数据传输均需奇偶校验位 (P)。通信协议需要一个奇偶校验位来实现整个 32 位命令的奇校验。奇偶校验计算中仍需考虑无关位。

### P0

P0 是对器件响应的位 [31:16] 建立奇校验的奇偶校验位。

### P1

P1 是对整个 32 位器件响应建立奇校验的奇偶校验位。

### RE

RE 是从 ADXRS450 器件发送至控制模块的通信差错位。下列情况中可出现请求错误 (RE)：

- 控制模块发送无效命令。
- 读 / 写命令指定无效的存储器寄存器。
- 写命令尝试不可写入的存储器寄存器。

### DU

如表 10 所述，向存储器寄存器（例如 DNC0）写入数据时的顺序传输延迟为 0.1 ms。如果在完成顺序传输延迟前向器件发出连续写命令，该命令将被忽略，而器件将发出“数据不可用 (DU)”错误响应。但观察到顺序传输延迟仅为 10 μs 后，可以发出读命令或传感器数据请求。无论随后发送至器件的命令如何，当写入程序启动后，运算便会一直持续到完成（需要 17 ms）。

## 故障寄存器位定义

本节介绍用于向用户通知故障的可用位。故障寄存器的各个位根据各自的检测标准异步更新；不过，建议故障寄存器的读取速率不低于 250 Hz。置位后，各个状态位在由主器件读取前不会复位。如果读取故障寄存器后错误仍然存在，状态位立即重新置位，并保持到下一个命令 / 响应交换。整个故障寄存器附加到每个传感器数据请求。也可以通过向寄存器 0x0A 发出读命令来访问。

表 13. 快速指南——故障寄存器位定义

位名称	描述
PLL	PLL 故障
Q	正交误差
NVM	非易失性存储器故障 (NVM)
POR	上电复位无法初始化
UV	调节器欠压
Amp	幅度检测失败
PWR	电源调节失败：过压 / 欠压
CST	连续自测失败
CHK	检查：产生故障
OV	调节器过压
Fail	将 ST[1:0] 位设置为 0b00 的故障

### PLL

PLL 位指示器件是否存在锁相环功能电路模块故障。此情况发生于 PLL 无法与谐振器结构实现同步时。如果 PLL 状态标志有效，传感器数据响应的 ST 位设置为 0b00，指示响应包含可能无效的速率数据。

### Q

Q 故障可根据两个独立的正交计算来置位。四通道存储器（寄存器 0x08）内的值对应于器件内的总瞬时正交。如果此值超过 4096 LSB，则发出 Q 故障。由于正交增加可造成失调误差，ADXRS450 内置了动态消除正交效应的方法。内部正交累加器记录了 ADXRS450 执行的正交校正次数。过度正交与失调误差相关。器件内的正交误差 (Q) 达到 4°/秒（典型值）的速率偏移时，则发出 Q 故障。

### NVM

内部 NVM 数据无法通过校验和计算时，便会向控制模块发送一个 NVM 错误。此检查每隔 50 μs 执行一次，而且不包括 DNC0 或 PID 存储器寄存器。

### POR

器件启动时会执行一项内部检查，用于确保器件的易失性存储器工作正常。这是通过将器件 ROM 的已知值编程到易失性存储器寄存器中来完成的。接着在器件工作期间，每隔 1 μs 将该值与 ROM 内的已知值进行比较。如果存储在易失性存储器中的值改变，或者与存储在 ROM 中的值不匹配，则 POR 错误标志位置位。一个上电周期后，将存储在 ROM 中的值重新写入易失性存储器。

### PWR

器件会连续检查内部 3 V 稳压电平。如果过压 (OV) 或欠压 (UV) 故障置位，则电源 (PWR) 位也被置位。如果观察到调节电压高于 3.3 V 或低于 2.77 V，则会出现这种情况。内部低通滤波器去除高频毛刺效应，防止 PWR 位不必要的置位。要确定故障是过压还是欠压条件的结果，必须分析 OV 和 UV 故障位。

### CST

ADXRS450 设计有连续自测 (CST) 功能。测得的自测幅度与表 1 中提供的限值进行比较。与该值的偏差即是自测误差的报告结果。自测故障有两种阈值。

- 自测值与标称值相差超过  $\pm 512$  LSB 时，故障寄存器内的自测标志置位。
- 自测值与标称值相差超过  $\pm 1856$  LSB，则故障寄存器内的自测标志置位，并且 ST[1:0] 位设置为 0b00，指示传感器数据响应内的速率数据可能无效。

### CHK

控制模块将检查 (CHK) 位发送至 ADXRS450，作为生成故障的方法。通过将 CHK 位置位，器件为生成通过故障寄存器表示的所有故障建立了条件。例如，故意将自测幅度更改为故障检测阈值以上可导致自测错误。这样，器件便能检查自身的故障条件检测能力，以及向控制模块报告该故障的能力。

故障条件几乎同时启动；不过，CHK 位被置位时收到故障代码所需的时间取决于生成每个唯一故障所需的时间。生成所有内部故障并更新故障寄存器以反映器件条件所需的时间不会超过 50 ms。清除 CHK 位前，状态位 (ST[1:0]) 设置为 0b10，指示控制模块应将数据视为自测数据。CHK 复位后，故障条件需要额外 50 ms 衰减，此后器件返回正常工作状态。



## OV

观察到内部调节电压（标称值为 3 V）超过 3.3 V 时，过压 (OV) 故障位即会置位。此测量值经过低通滤波，以防止噪声尖峰等误置位故障条件。发生 OV 故障时，PWR 故障位会同时置位。由于 OV 故障位并非作为传感器数据请求的一部分发送，建议用户在置位 PWR 错误时回读 FAULT1 和 FAULT0 存储器寄存器。这样用户便可决定具体的错误条件。

## UV

观察到内部调节电压（标称值为 3 V）低于 2.77 V 时，欠压 (UV) 故障位即会置位。此测量值经过低通滤波，以防止噪声尖峰等伪像置位故障条件。发生 UV 故障时，PWR 故障位会同时置位。由于 UV 故障位并非作为传感器数据请求的一部分发送，建议用户在置位 PWR 错误时回读 FAULT1 和 FAULT0 存储器寄存器。这样用户便可决定具体的错误条件。

## Fail

出现 ST [0:1] 位被设置为 0b00 的条件时，失败标志位即会置位。这指示器件发生了总体故障，且传感器数据可能无效。

## Amp

测得的硅谐振器幅度显著降低时，amp 故障位即会置位。如果提供给 CP5 的电压降至内部电压调节器要求以下，便会出现此条件。该故障位与 CST 故障经过逻辑或运算，因此在传感器数据请求期间，CST 位代表 amp 故障或 CST 故障。接着可从存储器读取整个状态寄存器，以验证具体故障。

## K 位置位：推荐的启动程序

图 27 显示了用户可实施的推荐启动程序。也可使用替代启动序列；不过，应确保 ADXRS450 的响应被正确处理。如果在器件上电后立即实施，实施下列故障检测程序的总时间约为 200 ms。

如“器件数据锁存”部分所述， $\overline{CS}$  信号置位后器件内的数据用于下一个命令 / 响应交换。在器件报告由 CHK 命令置位产生的数据前，这会造成明显的处理延迟。与器件进行的所有其他读 / 写交互均无此类延迟，而 MOSI 命令则在下一个命令 / 响应交换期间处理。请注意，当 CHK 位复位时，如果用户在清除 CST 故障标志前试图从器件获得数据，器件将把数据报告为误差数据。

# ADXRS450

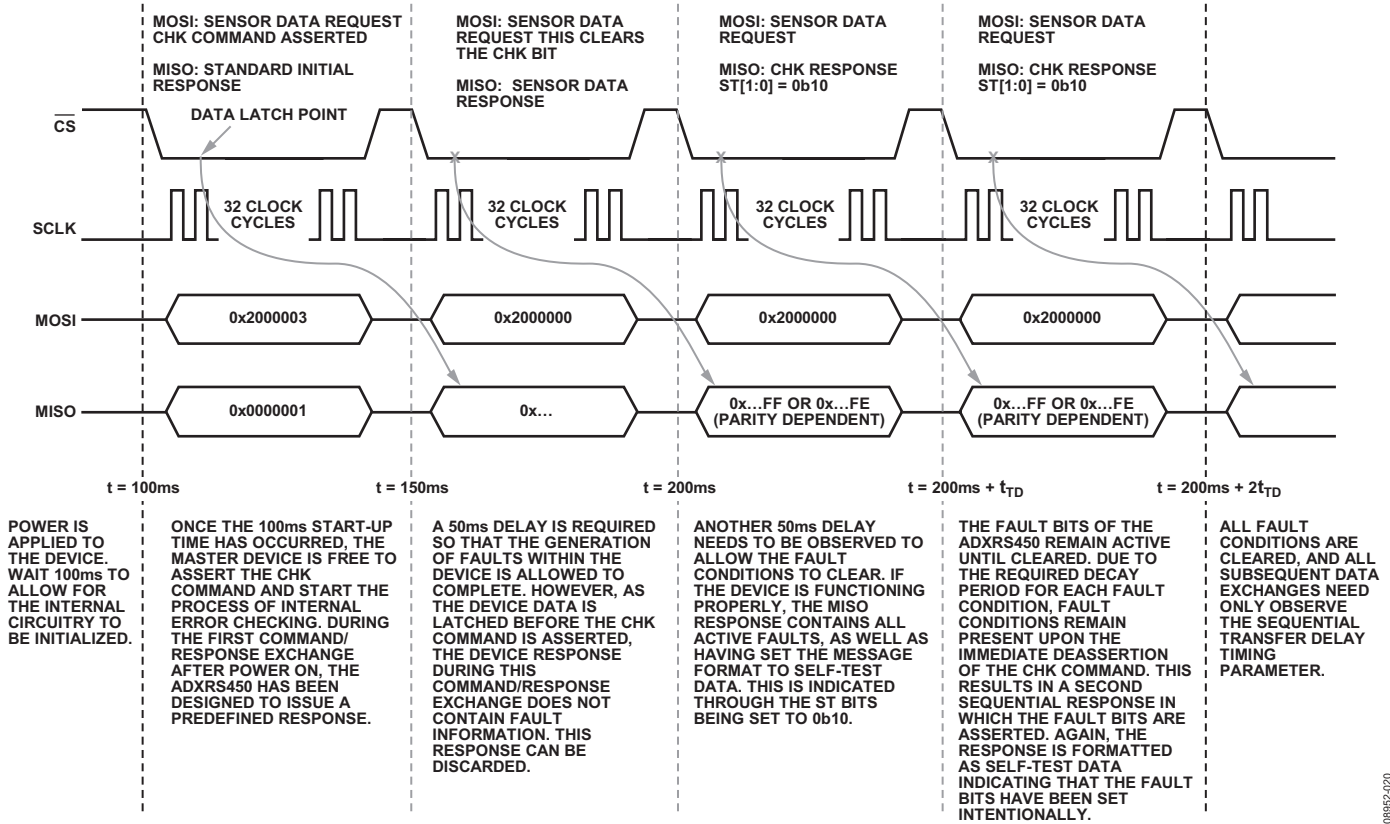


图 27. 推荐的启动序列

## SPI 速率数据格式

ADXRS450 陀螺仪以 16 位格式发送速率数据，作为 32 位 SPI 数据帧的一部分。有关传感器数据请求响应的完整 32 位格式，请参见表 9。速率数据以 MSB 优先方式传输，从 D15 至 D0。数据采用二进制补码数格式，比例因子为 80 LSB/°/秒。

因此，正向（顺时针）旋转的最高可获得值为 0x7FFF（十进制为 +32,767），而逆时针旋转则为 0x8000（十进制为 -32,768）。±24,000 LSB(±300°/秒)以上则无法保证器件性能。

表 14. 速率数据

14 位速率数据		数据类型	描述
十进制 (LSB)	十六进制 (D15:D0)		
+32,767	0x7FFF	速率数据（不能保证）	最大可能正数据值
...	...	...	...
+24,000	0x5DC0	速率数据	+300 度 / 秒旋转（正 FSR）
...	...	...	...
+160	0x00A0	速率数据	+2 度 / 秒旋转
+80	0x0050	速率数据	+1 度 / 秒旋转
...	...	...	...
+40	0x0028	速率数据	+1/2 度 / 秒旋转
+20	0x0014	速率数据	+1/4 度 / 秒旋转
...	...	...	...
0	0x 0000	速率数据	零速旋转值
...	...	...	...
- 20	0xFFEC	速率数据	- 1/4 度 / 秒旋转
- 40	0xFFD8	速率数据	- 1/2 度 / 秒旋转
...	...	...	...
- 80	0xFFB0	速率数据	-1 度 / 秒旋转
- 160	0xFF60	速率数据	-2 度 / 秒旋转
...	...	...	...
- 24,000	0xA240	速率数据	- 300 度 / 秒旋转（负 FSR）
...	...	...	...
- 32,768	0x8000	速率数据（不能保证）	最大可能负数据值

## 存储器映射和寄存器

### 存储器映射

以下是可供客户读取或写入的存储器寄存器列表。有关读取 / 写入具体存储器寄存器的正确输入序列，请参见之前的“SPI 通信协议”部分。每个存储器寄存器由八个数据位组成，不过，执行读取请求时，数据始终以 16 位消息形式

返回。这是通过将下一个寄存器的数据附加到指定存储器地址来完成的。数据以 MSB 优先方式发送。为了从存储器寄存器正确采集数据，读取请求应仅针对编号为偶数的寄存器地址。存储器映射（参见表 15）之后介绍了每个存储器寄存器的重要性。

表 15. 存储器寄存器映射

地址	寄存器名称	MSB	D6	D5	D4	D3	D2	D1	LSB
0x00	RATE1	RTE15	RTE14	RTE13	RTE12	RTE11	RTE10	RTE9	RTE8
0x01	RATE0	RTE7	RTE6	RTE5	RTE4	RTE3	RTE2	RTE1	RTE0
0x02	TEM1	TEM9	TEM8	TEM7	TEM6	TEM5	TEM4	TEM3	TEM2
0x03	TEM0	TEM1	TEM0	(未用)	(未用)	(未用)	(未用)	(未用)	(未用)
0x04	LOCST1	LCST15	LCST14	LCST13	LCST12	LCST11	LCST10	LCST9	LCST8
0x05	LOCST0	LCST7	LCST6	LCST5	LCST4	LCST3	LCST2	LCST1	LCST0
0x06	HICST1	HCST15	HCST14	HCST13	HCST12	HCST11	HCST10	HCST9	HCST8
0x07	HICST0	HCST7	HCST6	HCST5	HCST4	HCST3	HCST2	HCST1	HCST0
0x08	QUAD1	QAD15	QAD14	QAD13	QAD12	QAD11	QAD10	QAD9	QAD8
0x09	QUAD0	QAD7	QAD6	QAD5	QAD4	QAD3	QAD2	QAD1	QAD0
0x0A	FAULT1	(未用)	(未用)	(未用)	(未用)	FAIL	AMP	OV	UV
0x0B	FAULT0	PLL	Q	NVM	POR	PWR	CST	CHK	0
0x0C	PID1	PIDB15	PIDB14	PIDB13	PIDB12	PIDB11	PIDB10	PIDB9	PIDB8
0x0D	PID0	PIDB7	PIDB6	PIDB5	PIDB4	PIDB3	PIDB2	PIDB1	PIDB0
0x0E	SN3	SNB31	SNB30	SNB29	SNB28	SNB27	SNB26	SNB25	SNB24
0x0F	SN2	SNB23	SNB22	SNB21	SNB20	SNB19	SNB18	SNB17	SNB16
0x10	SN1	SNB15	SNB14	SNB13	SNB12	SNB11	SNB10	SNB9	SNB8
0x11	SN0	SNB7	SNB6	SNB5	SNB4	SNB3	SNB2	SNB1	SNB0
0x12	DNC1	(未用)	(未用)	(未用)	(未用)	(未用)	(未用)	DNCB9	DNCB8
0x13	DNC0	DNCB7	DNCB6	DNCB5	DNCB4	DNCB3	DNCB2	DNCB1	DNCB0

## 存储器寄存器定义

本节说明 SPI 可访问的存储器寄存器。如前一部分所述，向存储器寄存器请求数据时，仅需寻址首个存储器寄存器。器件返回的数据包含 16 位的存储器寄存器信息。位 [15:8] 包含所请求信息的 MSB，而位 [7:0] 包含 LSB。

### 速率寄存器

地址： 0x00 (RATE1)

0x01 (RATE0)

寄存器更新速率： 500 Hz

比例因子： 80 LSB/°/ 秒

速率寄存器包含器件已滤波至 80 Hz 的温度补偿速率输出。该数据也可通过向器件发出传感器数据读取请求来访问。数据格式为 16 位二进制补码数。

MSB							LSB
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

### 温度 (TEM<sub>x</sub>) 寄存器

地址： 0x02 (TEM1),

0x03 (TEM0)

寄存器更新速率： 500 Hz

比例因子： 5 LSB/°C

TEM 寄存器的值对应于器件温度。数据格式为 10 位二进制补码数。0 LSB 对应于约 45°C 的温度。

MSB						LSB	
D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2
D1	D0	(未用)					

表 16

温度	TEM1:TEM0 值
45°C	0000 0000 00XX XXXX
85°C	0011 0010 00XX XXXX
0°C	1100 0111 11XX XXXX

### 低 CST (LOCST) 存储器寄存器

地址： 0x04 (LOCST1)

0x05 (LOCST0)

寄存器更新速率： 1000 Hz

比例因子： 80 LSB/°/ 秒

LOCST 存储器寄存器包含经过温度补偿和低通滤波的连续自测数据值。该值衡量的是正负自测偏转间的差异，对应于表 1 提供的值。如果自测值超过已建立的自测限值，器件发出 CST 错误。自测数据被滤波至 2 Hz，以防 CST 故障位发生误触发。数据格式为 16 位二进制补码数，而比例因子为 80 LSB/°/ 秒。

MSB						LSB	
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

### 高 CST (HICST) 存储器寄存器

地址： 0x06 (HICST1),

0x07 (HICST0)

寄存器更新速率： 1000 Hz

比例因子： 80 LSB/°/ 秒

HICST 寄存器包含未经滤波的自测信息。由于可检测到自测响应中的突发偏移，因此 HICST 数据可用于在安全关键应用中协助进行故障诊断。不过，当观察到 HICST 数据超过自测限值时，故障寄存器的 CST 位不会置位。仅专为滤除外部干扰引起的噪声和突发临时自测尖峰效应而设计的 LOCST 存储器寄存器可以控制 CST 故障位的置位。数据格式为 16 位二进制补码数。

MSB						LSB	
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

### 四通道存储器寄存器

地址： 0x08 (QUAD1)

0x09 (QUAD0)

寄存器更新速率： 250 Hz

比例因子： 80 LSB/°/ 秒

四通道存储器寄存器的值对应于器件在给定时间具有的正交误差量。正交可以视为谐振器结构运动的误差度量，可能是由应力和老化效应引起的。正交数据被滤波至 80 Hz，可以频繁读取以检测正交水平的突发偏移。数据格式为 16 位二进制补码数。

MSB						LSB	
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

# ADXRS450

## 故障寄存器

地址：0x0A (FAULT1)

0x0B (FAULT0)

寄存器更新速率：不适用

比例因子：不适用

故障寄存器包含器件内错误标志位的状态。FAULT0 寄存器附加到每次器件数据传输的末端（参见表 13）；不过，此寄存器也可通过其存储器位置单独访问。只要片内存在故障条件，各个故障位便会异步更新，且激活时间不足 5  $\mu$ s。切换时，每个故障位保持有效，直至读取故障寄存器或收到传感器数据命令。如果读取位后故障仍然存在，故障位会立即重新置位。

MSB				LSB			
(未用)				FAIL	AMP	OV	UV
PLL	Q	NVM	POR	PWR	ST	CHK	0

## 器件 ID (PID) 寄存器

地址：0x0C (PID1)

0x0D (PID0)

寄存器更新速率：不适用

比例因子：不适用

器件标识寄存器包含一个 16 位数，用于识别 ADXRS450 的版本。该信息结合序列号，可以实现更高层次的器件个性化和跟踪。初始产品 ID 为 R01 (0x5201)，硅片版本以后变化时，该值便递增为 R02, R03，依此类推。

MSB				LSB			
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

## 序列号 (SN) 寄存器

地址：0x0E (SN3)

0x0F (SN2)

0x10 (SN1)

0x11 (SN0)

寄存器更新速率：不适用

比例因子：不适用

序列号寄存器包含一个 32 位识别号，是器件的唯一标识。要读取整个序列号，必须启动两个存储器读取请求。对寄存器 0x0E 的首个读取请求返回序列号的前 16 位，对寄存器 0x10 的后续读取请求返回序列号的后 16 位。

MSB				LSB			
D31	D30	D29	D28	D27	D26	D25	D24
D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

## 动态零点校正 (DNC) 寄存器

地址：0x12 (DNC1)

0x13 (DNC0)

寄存器更新速率：不适用

比例因子：80 LSB/°/秒

动态零点校正寄存器是唯一一个用户可以进行写入访问的寄存器。用户可以通过将这些位置位来微调器件的速率输出。通过此 10 位寄存器，用户最多可将器件的静态速率输出调节  $\pm 6.4^\circ$ /秒。

MSB						LSB	
(未用)						D9	D8
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

# 封装方向和布局信息

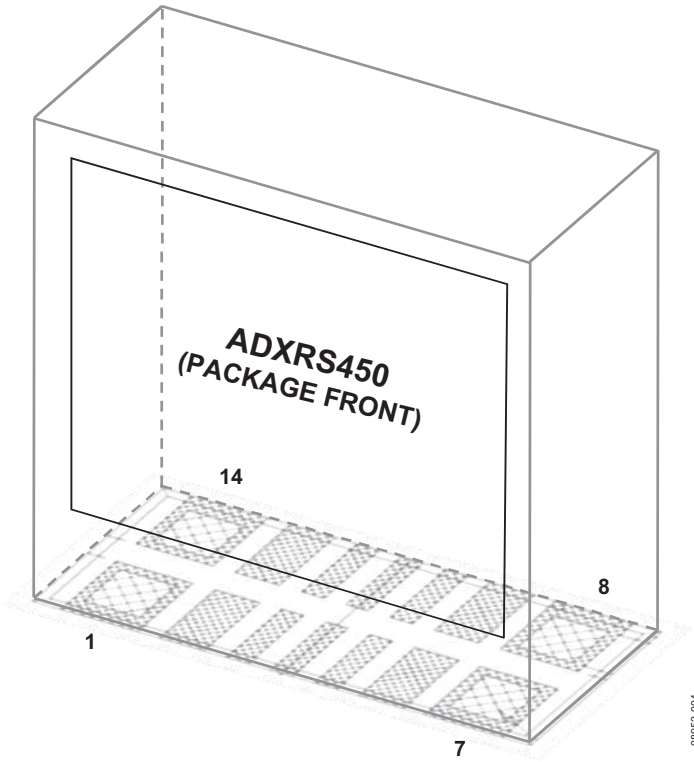


图 28. 14 引脚陶瓷 LCC\_V 垂直贴装

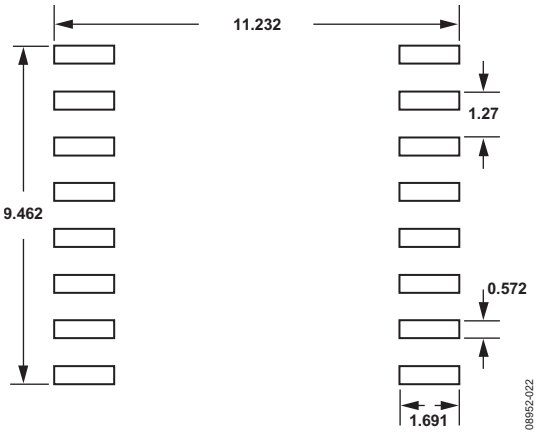


图 29. 样片 SOIC\_CAV 焊盘布局 (焊盘图形), 图示尺寸单位: mm, 未按比例绘制

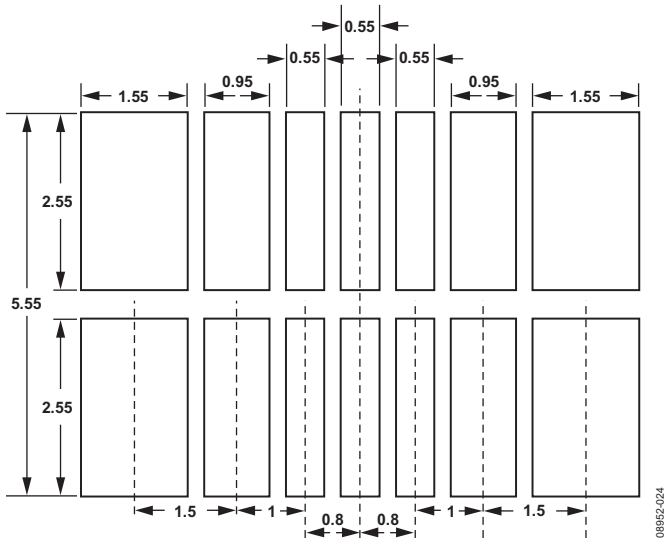


图 30. LCC\_V 焊盘布局, 图示尺寸单位: mm, 未按比例绘制

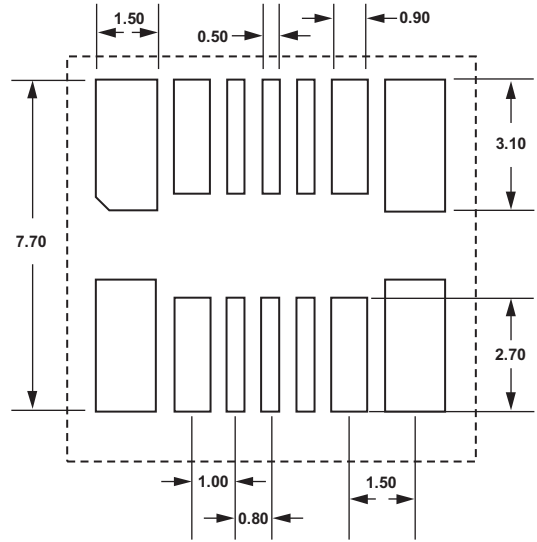


图 31. 样片 LCC\_V 水平贴装焊盘布局，  
图示尺寸单位：mm，未按比例绘制



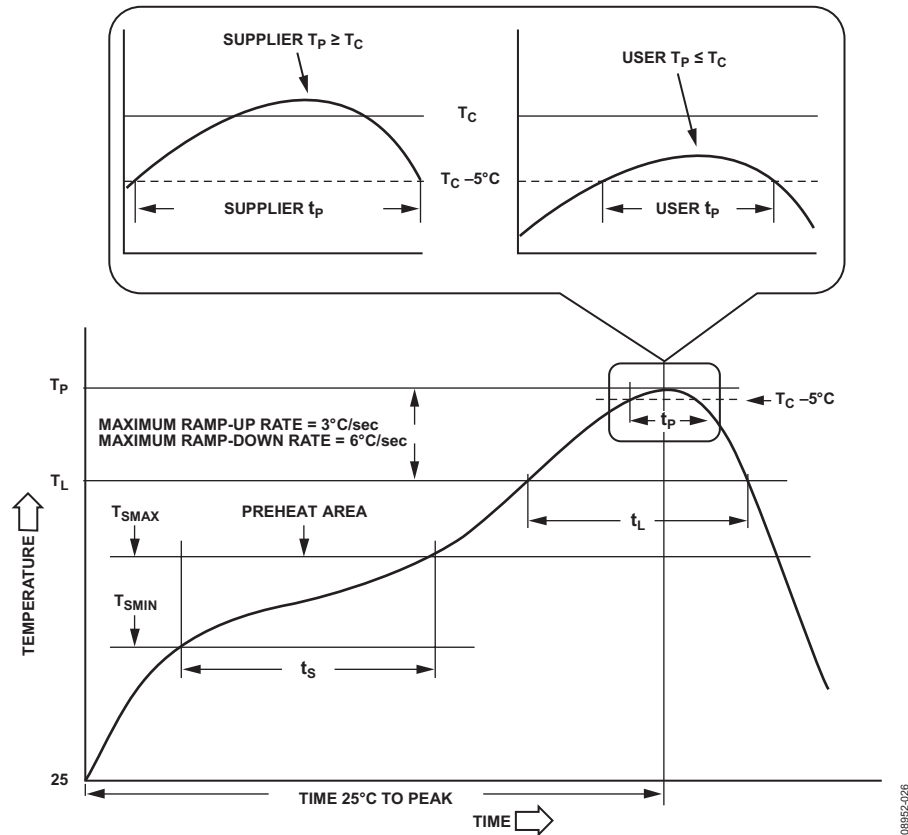


图 32. 推荐的焊接温度曲线

表 17. 焊接温度曲线条件

曲线特征	条件	
	Sn63/Pb37	无铅
平均斜坡速率 ( $T_L$ 至 $T_P$ )	3°C/ 秒 (最大值)	
预热		
最低温度 ( $T_{SMIN}$ )	100°C	150°C
最高温度 ( $T_{SMAX}$ )	150°C	200°C
时间 ( $T_{SMIN}$ 至 $T_{SMAX}$ ) ( $t_s$ )	60 秒至 120 秒	60 秒至 120 秒
$T_{SMAX}$ 至 $T_L$		
上斜坡速率	3°C/ 秒 (最大值)	
液态维持时间		
液态温度 ( $T_L$ )	183°C	217°C
时间 ( $t_L$ )	60 秒至 150 秒	60 秒至 150 秒
峰值温度 ( $T_P$ )	240°C + 0°C/ - 5°C	260°C + 0°C/ - 5°C
实际峰值温度 $\pm 5^\circ\text{C}$ 以内的时间 ( $t_p$ )	10 秒至 30 秒	20 秒至 40 秒
下斜坡速率	6°C/ 秒 (最大值)	
从 25°C 至峰值温度的时间	6 分钟 (最大值)	8 分钟 (最大值)

# ADXRS450

## 封装标识码

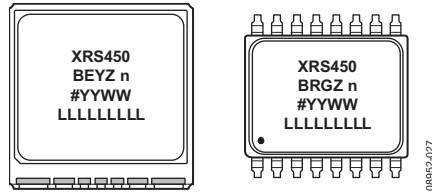
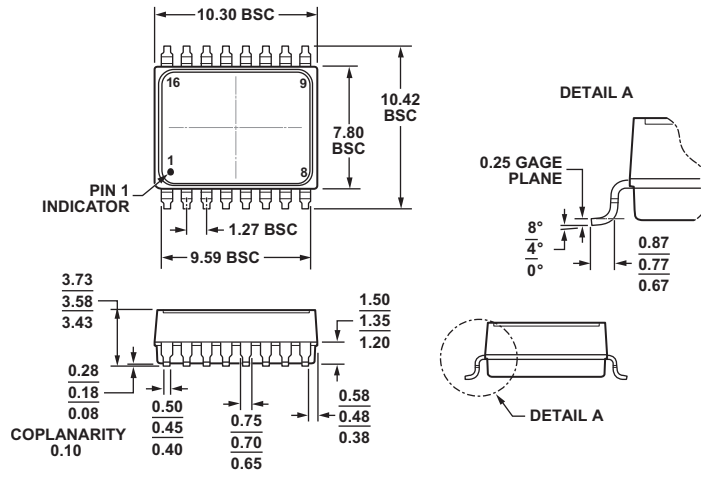


图 33. LCC\_V 和 SOIC\_CAV 封装标识码

表 18. 封装代码描述

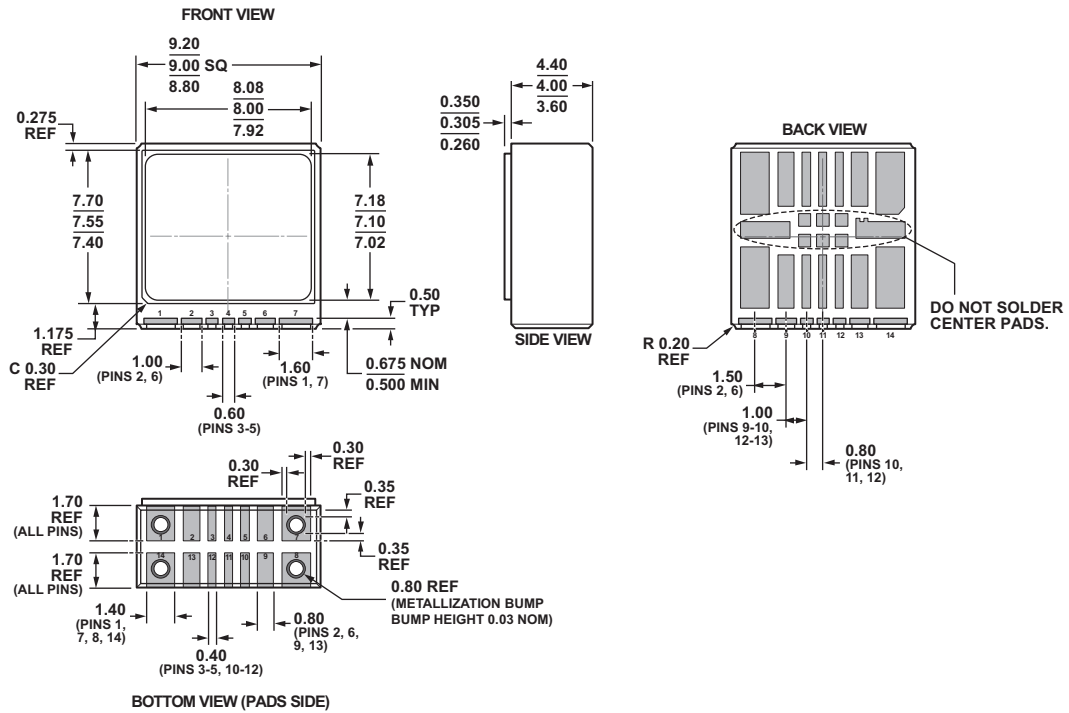
标识	意义
XRS	角速率传感器
450	序列号
B	温度等级 (-40°C 至 +105°C)
RG	封装标识 (SOIC_CAV 封装)
EY	封装标识 (LCC_V 封装)
Z	符合 RoHS 标准
N	版本号
#	无铅标识
YYWW	组装日期代码
LLLLLLLLL	组装批次代码 (最多 9 个字符)

外形尺寸



072409-B

图 34. 16 引脚小型塑料空腔封装 [SOIC\_CAV]  
(RG-16-1)  
图示尺寸单位: mm



04-08-2010-A

图 35. 14 引脚陶瓷无铅芯片载体 [LCC\_V]  
(EY-14-1)  
图示尺寸单位: mm

# ADXRS450

## 订购指南

型号 <sup>1</sup>	温度范围	封装描述	封装选项
ADXRS450BEYZ	-40°C 至 +105°C	14 引脚陶瓷无铅芯片载体, 垂直型 [LCC_V]	EY-14-1
ADXRS450BEYZ-RL	-40°C 至 +105°C	14 引脚陶瓷无铅芯片载体, 垂直型 [LCC_V]	EY-14-1
ADXRS450BRGZ	-40°C 至 +105°C	16 引脚小型塑料空腔封装 [SOIC_CAV]	RG-16-1
ADXRS450BRGZ-RL	-40°C 至 +105°C	16 引脚小型塑料空腔封装 [SOIC_CAV]	RG-16-1
EVAL-ADXRS450Z		评估板 SOIC_CAV	
EVAL-ADXRS450Z-V		评估板 LCC_V	
EVAL-ADXRS450Z-M		ADI 公司的惯性传感器评估系统 (包括 ADXRS450 卫星板)	
EVAL-ADXRS450Z-S		与惯性传感器评估系统一起使用的 ADXRS450 卫星板, 独立器件	

<sup>1</sup> Z = 符合 RoHS 标准的器件。