



# 低ノイズ、高周波 MEMS 加速度センサー

## データシート

## ADXL1001/ADXL1002

### 特長

アナログ出力を備えた面内軸加速度センサー  
DC から 11 kHz (3 dB ポイント) までの直線的な周波数応答範囲  
21 kHz の共振周波数

#### 超低ノイズ密度

±100 g の範囲で 30  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$  (ADXL1001)

±50 g の範囲で 25  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$  (ADXL1002)

オーバーレンジ検出と DC カップリングで、高速な回復を実現

全機能内蔵型の電子機械式セルフ・テスト

#### 感度性能

使用温度範囲にわたる感度の安定性: 5 %

フルスケール・レンジの直線性  $\pm 0.1$  %

交差軸の感度  $\pm 1$  % (ZX)、 $\pm 1$  % (YX)

#### 単電源動作

電源に比例する出力電圧

低消費電力: 1.0 mA

急速に回復する省電力スタンバイ動作モード

#### RoHS に準拠

温度範囲:  $-40$  °C ~  $+125$  °C

5 mm × 5 mm × 1.80 mm LFCSP パッケージ

### アプリケーション

#### 状態監視

#### 予防メンテナンス

#### アセット状態監視

#### 計測装置

#### HUMS (健康状態監視システム)

### 概要

ADXL1001/ADXL1002 は、2 つのフルスケール・レンジ・オプションを使用して広い周波数範囲にわたり超低ノイズ密度を実現するので、工業用の状態監視に最適です。ADXL1001 ( $\pm 100$  g) および ADXL1002 ( $\pm 50$  g) のノイズ密度は、それぞれ 30  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$  と 25  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$  (代表値) です。どちらの加速度センサー・デバイスも、安定性と再現性のある感度を備え、最大 10,000 g の外部衝撃に耐えます。

### 機能ブロック図

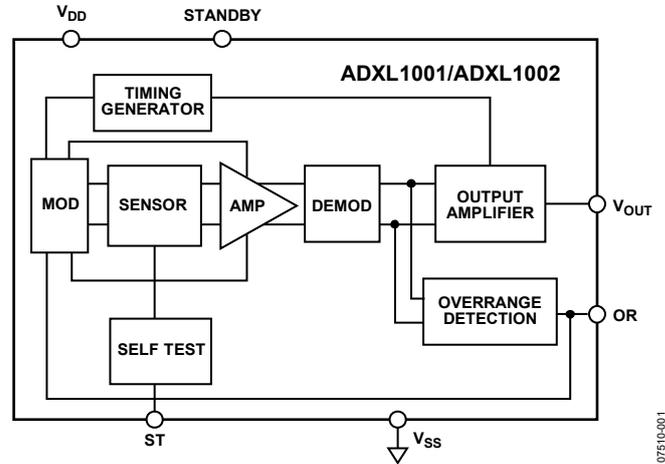


図 1.

ADXL1001/ADXL1002 には、高度なシステム・レベル機能を可能にする充実した静電気セルフ・テスト (ST) 機能とオーバーレンジ (OR) インジケータが内蔵されているので、組み込みアプリケーションに便利です。3.3 V ~ 5.25 V の低消費電力および単電源で動作する ADXL1001/ADXL1002 では、ワイヤレス検出製品の設計も可能です。ADXL1001/ADXL1002 は 5 mm × 5 mm × 1.80 mm LFCSP パッケージに収納されています。 $-40$  °C ~  $+125$  °C の温度範囲での動作が確認されています。

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。※日本語版資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。

## 目次

特長.....	1	動作モード.....	9
アプリケーション.....	1	帯域幅.....	9
機能ブロック図.....	1	アプリケーション情報.....	10
概要.....	1	アプリケーション回路.....	10
改訂履歴.....	2	オンデマンド・セルフ・テスト.....	10
仕様.....	3	比例出力電圧.....	10
絶対最大定格.....	4	10 kHz 未満のアナログ出力のインターフェース.....	11
熱抵抗.....	4	10 kHz を超えるアナログ出力のインターフェース.....	12
推奨されるハンダ処理プロファイル.....	4	オーバーレンジ.....	12
ESD に関する注意事項.....	4	取付けに関する機構上の留意点.....	13
ピン配置およびピン機能の説明.....	5	レイアウトと設計の推奨事項.....	13
代表的な性能特性.....	6	外形寸法.....	14
動作原理.....	9	オーダー・ガイド.....	14
機械式デバイスの動作.....	9		

## 改訂履歴

3/2017–Revision 0: Initial Version

## 仕様

特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{DD} = 5.0\text{ V}$ 、加速度 =  $0\text{ g}$ 。

表 1.

Parameter <sup>1</sup>	Test Conditions/ Comments	ADXL1001			ADXL1002			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
SENSOR								
Measurement Range			±100			±50		g
Linearity	Percentage of full scale		±0.1			±0.1		%
Cross Axis Sensitivity <sup>2</sup>	ZX cross axis		±1.0			±1.0		%
	YX cross axis		±1.0			±1.0		%
SENSITIVITY (RATIOMETRIC TO $V_{DD}$ )								
Sensitivity	DC		20			40		mV/g
Sensitivity Change Due to Temperature <sup>3</sup>	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$		±5			±5		%
ZERO g OFFSET (RATIOMETRIC TO $V_{DD}$ )								
0 g Output Voltage			$V_{DD}/2$			$V_{DD}/2$		V
0 g Output Range over Temperature <sup>4</sup>	$-40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$		5			5		g
NOISE								
Noise Density	100 Hz to 10 kHz		30			25		$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
1/f Frequency Corner			0.1			0.1		Hz
FREQUENCY RESPONSE								
Sensor Resonant Frequency			21			21		kHz
5% Bandwidth <sup>5</sup>			4.7			4.7		kHz
3 dB Bandwidth <sup>5</sup>			11			11		kHz
SELF TEST								
Output Change (Ratiometric to $V_{DD}$ )	ST low to ST high	235	275		510	545		mV
Input Level		$V_{DD} \times 0.7$			$V_{DD} \times 0.7$			V
High, $V_{IH}$				$V_{DD} \times 0.3$			$V_{DD} \times 0.3$	V
Low, $V_{IL}$								V
Input Current			25			25		$\mu\text{A}$
OUTPUT AMPLIFIER								
Short-Circuit Current			3			3		mA
Output Impedance			<0.1			<0.1		$\Omega$
Maximum Resistive Load			20			20		M $\Omega$
Maximum Capacitive Load <sup>6</sup>	No external resistor		100			100		pF
	With external resistor		22			22		nF
POWER SUPPLY ( $V_{DD}$ )								
Operating Voltage Range		3.3	5.0	5.25	3.3	5.0	5.25	V
Quiescent Supply Current			1.0	1.15		1.0	1.15	mA
Standby Current			225	285		225	285	$\mu\text{A}$
Standby Recovery Time (Standby to Measure Mode)	Output settled to 1% of final value		<50			<50		$\mu\text{s}$
Turn On Time <sup>7</sup>			<550			<550		$\mu\text{s}$
OPERATING TEMPERATURE RANGE								
		-40		+125	-40		+125	$^\circ\text{C}$

<sup>1</sup> すべての最小仕様と最大仕様を確保しています。代表的な仕様は確保されないことがあります。

<sup>2</sup> 交差軸感度は、測定する軸出力の垂直軸方向の励起カップリングとして定義されます。

<sup>3</sup>  $25^\circ\text{C}$  からのパッケージ・ヒステリシスが含まれます。

<sup>4</sup> 温度範囲の最大値および最小値の差です。

<sup>5</sup> DC 感度を基準とした偏差範囲に収まる周波数範囲として仕様規定される範囲は、センサーの共振周波数の応答ゲインにより応答が増加することで制限されます。

<sup>6</sup> 容量性負荷が  $100\text{ pF}$  を超える場合は、外部直列抵抗を接続する必要があります（最低  $8\text{ k}\Omega$ ）。出力容量が  $22\text{ nF}$  を超えないようにしてください。

<sup>7</sup>  $V_{DD}$  が半分の値に到達したタイミングと出力が最終値の 1% に安定するタイミングの時間差。

## 絶対最大定格

表 2.

Parameter	Rating
Acceleration (Any Axis, Unpowered)	10,000 g
Acceleration (Any Axis, Powered)	10,000 g
Drop Test (Concrete Surface)	1.2 m
V <sub>DD</sub>	-0.3 V to +5.5 V
Output Short-Circuit Duration (Any Pin to Common)	Indefinite
Temperature Range (Storage)	-55°C to +150°C

上記の絶対最大定格を超えるストレスを加えると、デバイスに恒久的な損傷を与えることがあります。この規定はストレス定格のみを指定するものであり、この仕様の動作のセクションに記載する規定値以上でのデバイス動作を定めたものではありません。デバイスを長時間にわたり絶対最大定格状態に置くと、デバイスの信頼性に影響を与えることがあります。

## 熱抵抗

熱性能は、プリント回路基板 (PCB) の設計と動作環境に直接関連しています。PCB の熱設計には、細心の注意を払う必要があります。

$\theta_{JA}$  は、1 立法フィートの密閉容器内で測定される、周囲温度とジャンクション温度の間の熱抵抗です。 $\theta_{JC}$  は、ジャンクション温度とケース温度の間の熱抵抗です。

表 3. パッケージ特性

Package Type	$\theta_{JA}$	$\theta_{JC}$	Device Weight
CP-32-26 <sup>1</sup>	48°C/W	14.1°C/W	<0.2 g

<sup>1</sup> 熱抵抗のシミュレーション値は、9 個のサーマル・ピアを備えた JEDEC 2S2P サーマル・テスト・ボードに基づいています。JEDEC JESD51 を参照

## 推奨されるハンダ処理プロファイル

図 2 と表 4 に、推奨されるハンダ処理プロファイルの詳細を示します。

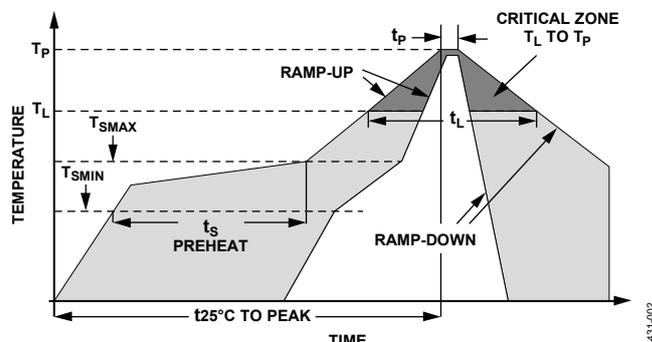


図 2. 推奨されるハンダ処理プロファイル

表 4. 推奨されるハンダ処理プロファイル

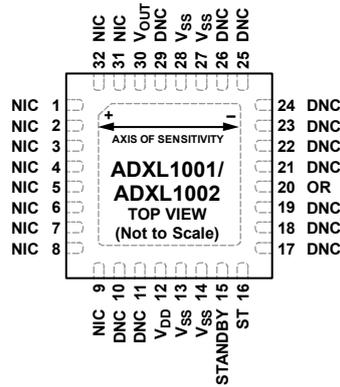
Profile Feature	Condition	
	Sn63/Pb37	Pb-Free
Average Ramp Rate (T <sub>L</sub> to T <sub>P</sub> )	3°C/sec maximum	3°C/sec maximum
Preheat		
Minimum Temperature (T <sub>SMIN</sub> )	100°C	150°C
Maximum Temperature (T <sub>SMAX</sub> )	150°C	200°C
Time, T <sub>SMIN</sub> to T <sub>SMAX</sub> (t <sub>S</sub> )	60 sec to 120 sec	60 sec to 180 sec
T <sub>SMAX</sub> to T <sub>L</sub>		
Ramp-Up Rate	3°C/sec maximum	3°C/sec maximum
Time Maintained Above Liquidous (T <sub>L</sub> )		
Liquidous Temperature (T <sub>L</sub> )	183°C	217°C
Time (t <sub>L</sub> )	60 sec to 150 sec	60 sec to 150 sec
Peak Temperature (T <sub>P</sub> )	240°C + 0°C/-5°C	260°C + 0°C/-5°C
Time Within 5°C of Actual Peak Temperature (t <sub>P</sub> )	10 sec to 30 sec	20 sec to 40 sec
Ramp-Down Rate	6°C/sec maximum	6°C/sec maximum
Time 25°C to Peak Temperature (t <sub>25°C</sub> )	6 min maximum	8 min maximum

## ESD に関する注意事項



ESD (静電放電) の影響を受けやすいデバイスです。電荷を帯びたデバイスや回路ボードは、検知されないまま放電することがあります。本製品は当社独自の特許技術である ESD 保護回路を内蔵していますが、デバイスが高エネルギーの静電放電を被った場合、損傷を生じる可能性があります。したがって、性能劣化や機能低下を防止するため、ESD に対する適切な予防措置を講じることをお勧めします。

ピン配置およびピン機能の説明



- NOTES
1. NIC = NOT INTERNALLY CONNECTED.
  2. DNC = NO NOT CONNECT. LEAVE THIS PIN UNCONNECTED.
  3. THE EXPOSED PAD ON THE BOTTOM OF THE PACKAGE MUST BE CONNECTED TO GROUND.
  4. AXIS OF SENSITIVITY IS IN-PLANE TO THE PACKAGE AND HORIZONTAL AS SHOWN.

15431-003

図 3. ピン配置

表 5. ピン機能の説明

ピン番号	記号	説明
1 ~ 9、31、32	NIC	内部では未接続。
10、11、17 ~ 19、21 ~ 26、29	DNC	接続なし。未接続のまま。
12	V <sub>DD</sub>	電源電圧: 3.3 V ~ 5.25 V。
13、14、27、28	V <sub>SS</sub>	電源グラウンド。
15	STANDBY	スタンバイ・モード入力、アクティブ・ハイ。
16	ST	セルフ・テスト入力、アクティブ・ハイ。
20	OR	オーバーレンジ出力。このピンは、オーバーレンジ検出回路が重大なオーバーレンジ状態を確認すると直ちに通知します。このピンにラッチは付いていません。
30	V <sub>OUT</sub>	アナログ出力電圧。
33	EPAD	エクスポーズド・パッド。パッケージ底面にあるエクスポーズド・パッドは、グラウンドに接続する必要があります。

代表的な性能特性

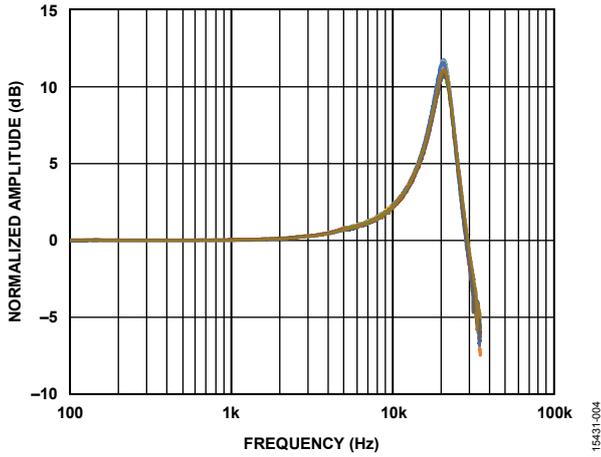


図 4. ADXL1001/ADXL1002 の周波数応答、高周波 (>5 kHz) の振動応答、レーザー振動計コントローラは、正確に使用するために ADXL1002 パッケージを参照

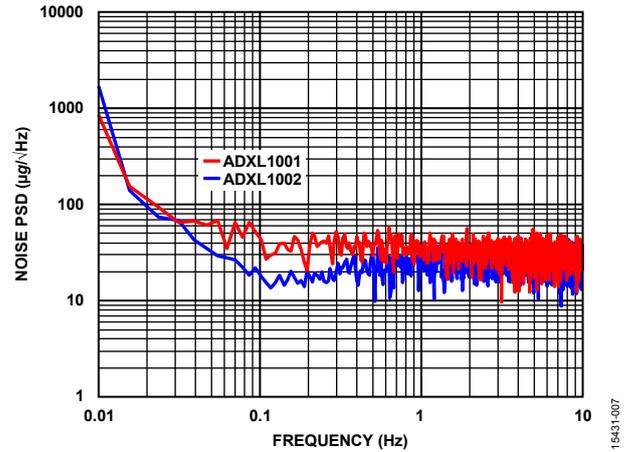


図 7. ADXL1001/ADXL1002 ノイズのパワー・スペクトラム密度 (ノイズ PSD)、10 Hz 未満

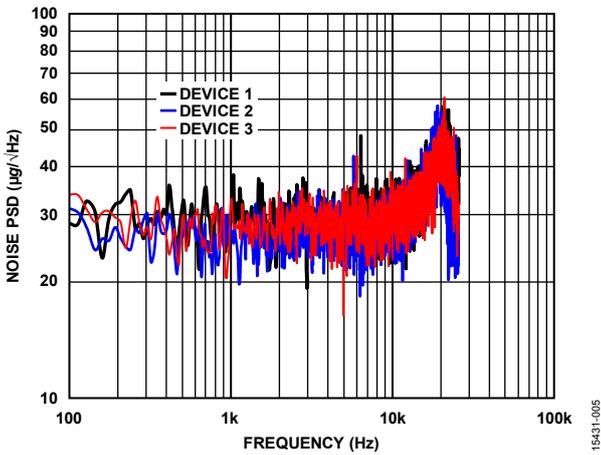


図 5. ADXL1001 ノイズのパワー・スペクトラム密度 (PSD) の周波数特性

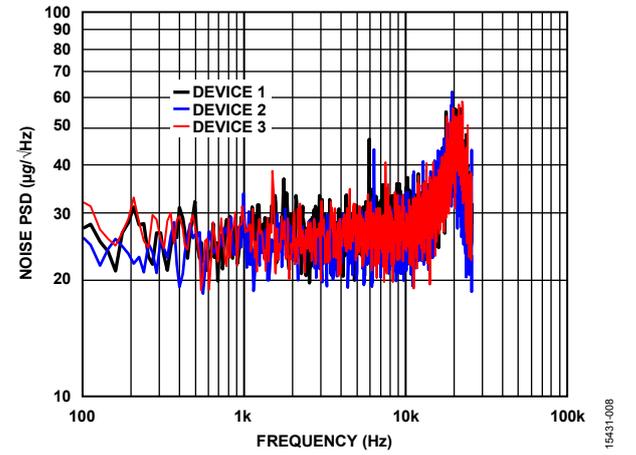


図 8. ADXL1002 ノイズのパワー・スペクトラム密度 (PSD)

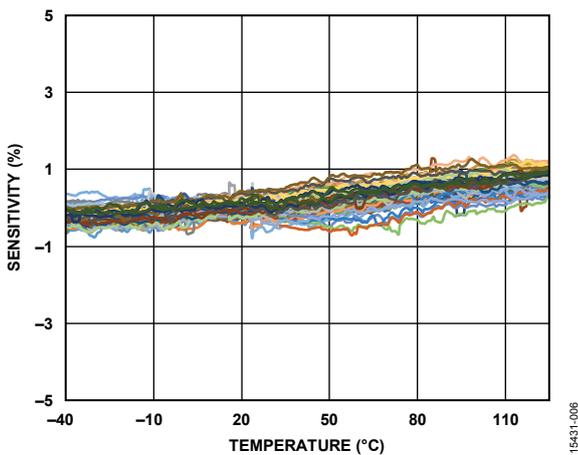


図 6. ADXL1001 感度の温度特性

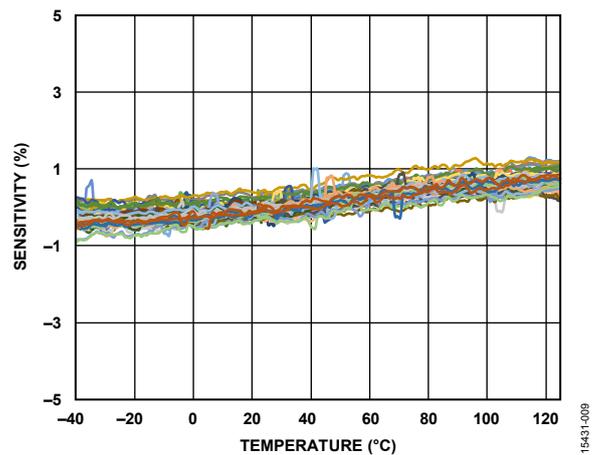


図 9. ADXL1002 感度の温度特性

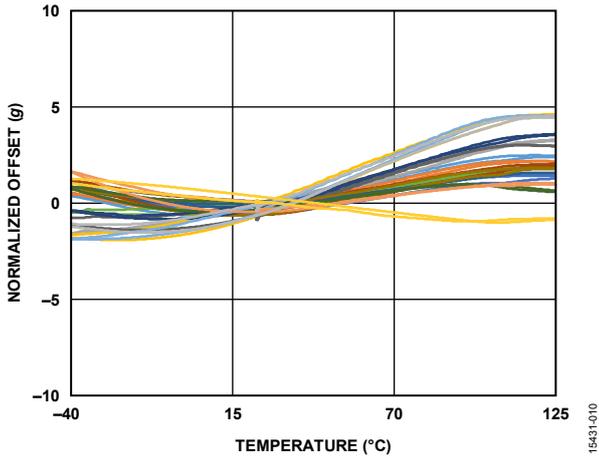


図 10. ADXL1001 正規化したオフセットの温度特性

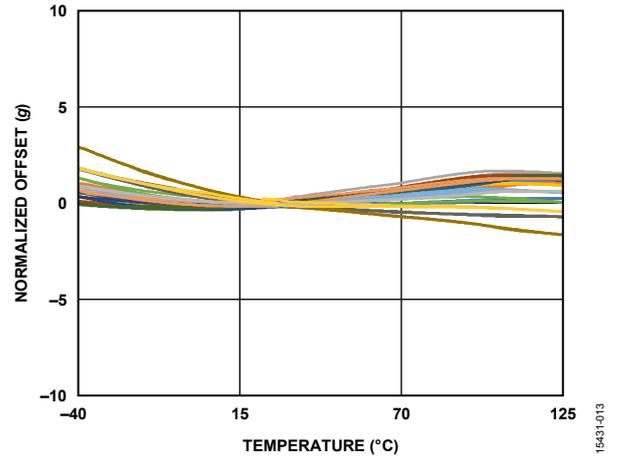


図 13. ADXL1002 正規化したオフセットの温度特性

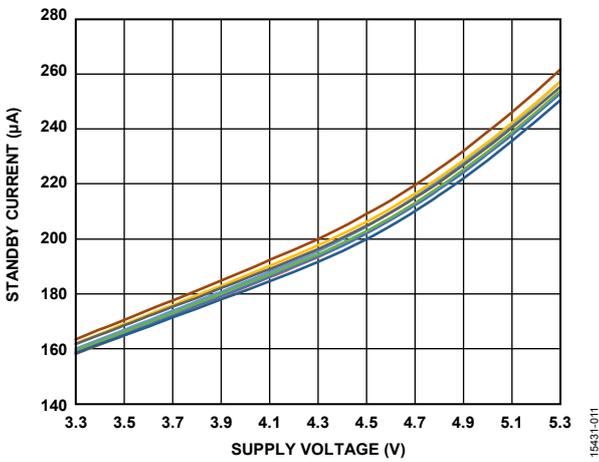


図 11. ADXL1001/ADXL1002 スタンバイ電流と電源電圧の関係

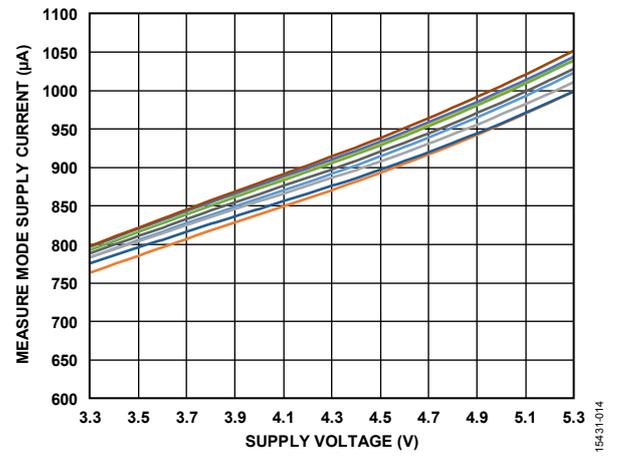


図 14. ADXL1001/ADXL1002 測定モードの電源電流と電源電圧の関係

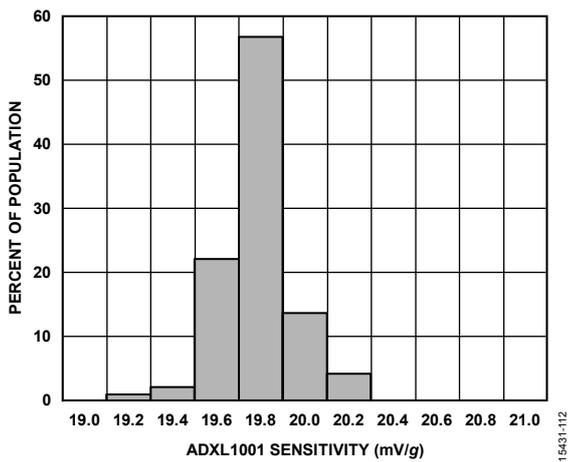


図 12. ADXL1001 25 °C での感度ヒストグラム

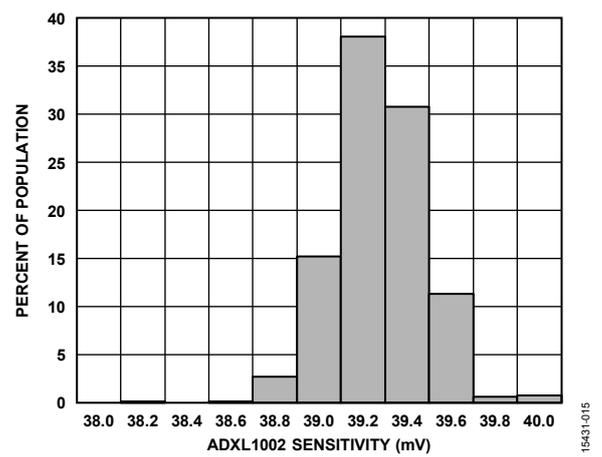


図 15. ADXL1002 25 °C での感度ヒストグラム

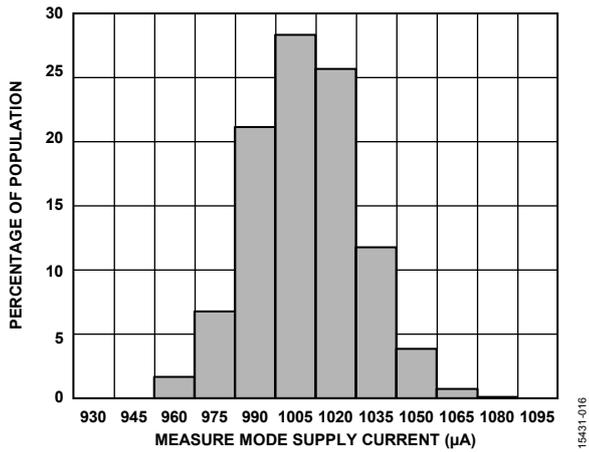


図 16. ADXL1001/ADXL1002 測定モードの電源電流ヒストグラム (5V)

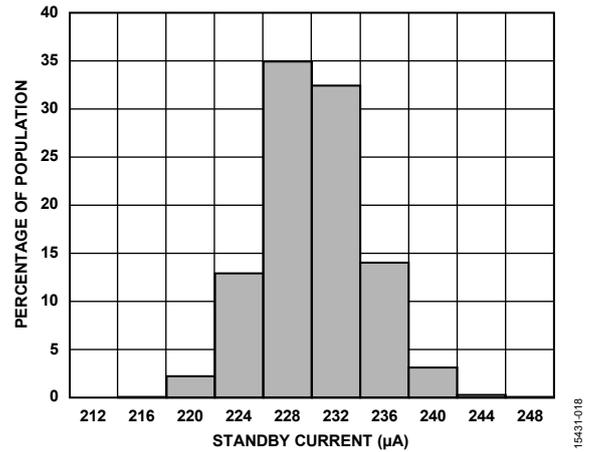


図 19. ADXL1001/ADXL1002 スタンバイ電流ヒストグラム (5V)

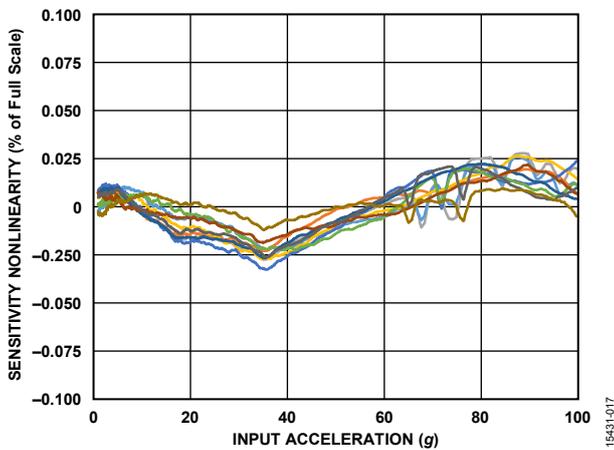


図 17. ADXL1001 感度の非直線性と入力加速度の関係

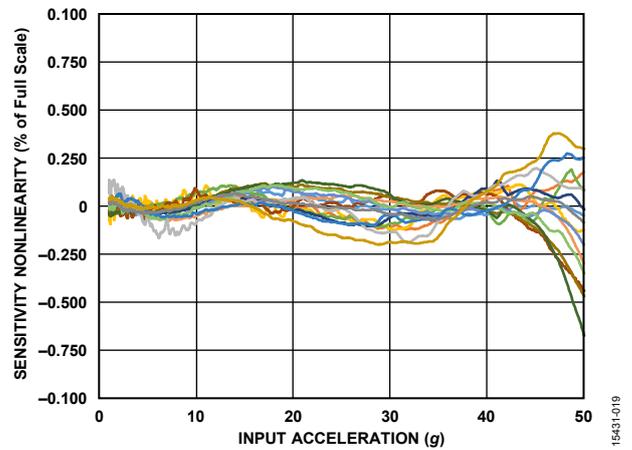


図 20. ADXL1002 感度の非直線性と入力加速度の関係

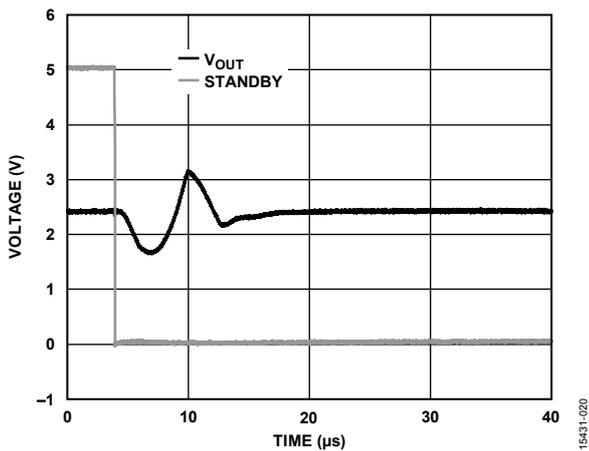


図 18. ADXL1001/ADXL1002 の出力 (グレー・トレース) はスタンバイ (黒) でセトリング、スタンバイでは 30 µs 未満でミッドレール (2.5V) にセトリング、ローパス・フィルタなしの出力

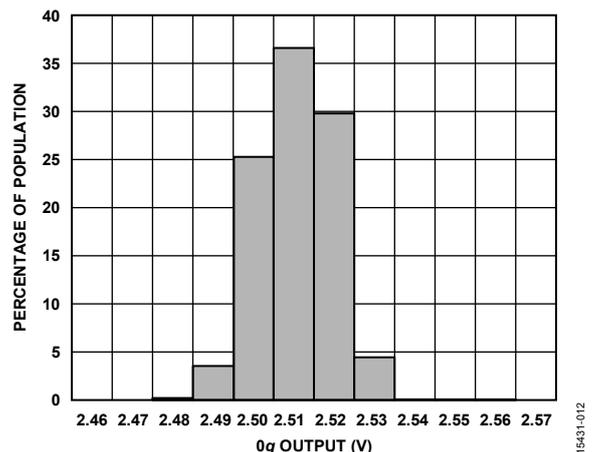


図 21. ADXL1001/ADXL1002 0g 出力の分布

## 動作原理

ADXL1001/ADXL1002は、機械振動に比例するアナログ出力を備えた高周波、低ノイズ1軸マイクロマシン（MEMS）加速度センサーです。ADXL1001/ADXL1002のg範囲は100gおよび50gと広く、機械やシステムの状態を監視／診断する振動分析システムなど、広帯域アプリケーションでの振動測定に適しています。

低ノイズと高周波の帯域幅により、内部ベアリングなどの小さな可動部品によって発生する振動パターンを測定できます。また、高いg範囲に対応するので、暖房、換気、空調（HVAC）や重機などの高振動環境で使用されるダイナミック・レンジを提供できます。最適な性能を発揮するため、システム・ノイズ、取り付け、シグナル・コンディショニングに注意してください。

システム・ノイズは、電源電圧ノイズの影響を受けます。ADXL1001/ADXL1002のアナログ出力は電圧に比例するので、電源電圧の変調が出力に影響を与えます。ADXL1001/ADXL1002を駆動し、デジタル化システムのリファレンス電圧を供給するには、適切にデカップリングされ、安定した電源電圧を使用します。

出力信号は、オーバーレンジ・ノイズの影響を受けます。過負荷インジケータ出力機能は、インテリジェントな測定システムにとって重要な条件を示します。オーバーレンジ機能の詳細については、オーバーレンジセクションを参照してください。

センサーを含む測定システムの振動ではなく、対象とする振動を正確に測定するには、センサーを正しく取り付け、振動全体を機械的に伝達する必要があります。高周波の機械式カップリングで一般的な技術として、スタッドのADXL1001/ADXL1002を固定する機械式インターフェースを考慮しながら、センサー・スタッド取り付けシステムを使用することが挙げられます。周波数が低い（センサーで可能な帯域幅よりも低い）場合は、磁気または接着剤を使用した取り付けが可能です。この取り付け技術を使用することで、測定システムの機械共振や、所望の周波数でのダンピングの影響を受けない、適切で再現性のある結果が実現します。また、監視されるシステムへの効率的で適切な機械式転送が可能になります。

最適な結果を得るには、適切なアプリケーションに固有のシグナル・コンディショニングが必要です。正確な結果を得るには、測定する周波数範囲を理解し、過負荷条件を管理する必要があります。ADXL1001/ADXL1002の電気出力信号では、帯域幅制限と適切なデジタル化帯域幅が必要です。詳細については、10kHz未満のアナログ出力のインターフェースのセクションと10kHzを超えるアナログ出力のインターフェースのセクションを参照してください。

## 機械式デバイスの動作

センサーの可動部品は、シリコン・ウェハの上面に構成されるポリシリコン表面マイクロマシン構造になっています。ポリシリコンのスプリングがウェハ表面でこの構造部を支え、加速力に対する抵抗をもたらします。

構造部の変位は、独立した固定プレートと可動部に取り付けられたプレートで構成される、差動コンデンサによって測定します。加速度によって構造が偏向し、差動コンデンサが不平衡になるため、センサー出力の振幅は加速度に比例します。位相検波復調により、加速度の大きさと極性が決定されます。

## 動作モード

ADXL1001/ADXL1002には、測定モードとスタンバイ・モードの2つのモードがあります。測定モードは、連続したアナログ出力でアクティブな監視を行います。スタンバイ・モードは、動作のない低消費電力モードです。

## 測定モード

測定モードはADXL1001/ADXL1002の通常動作モードです。このモードでは、加速度センサーは検出軸の加速度を測定し、5.0Vの電源を使用して1.0mA（代表値）を消費します。

## スタンバイ

ADXL1001/ADXL1002をスタンバイ・モードにすると、測定が一時停止され、消費電流が内部で225μAまで（5.0V電源の代表値）下がります。スタンバイから測定モードへの遷移時間は50μs未満です。スタンバイから測定モードへの遷移を図18に示します。

## 帯域幅

ADXL1001/ADXL1002回路は、センサーの共振周波数を超える出力に対応し、センサーの共振周波数に匹敵する帯域幅の加速度を測定できます。出力応答は、センサー応答と出力アンプ応答の組み合わせです。そのため、外部帯域制限またはフィルタ処理が必要です。詳細については、10kHz未満のアナログ出力のインターフェースおよび10kHzを超えるアナログ出力のインターフェースのセクションを参照してください。

10kHzを超える周波数でADXL1001/ADXL1002を使用する場合は、センサーの共振周波数による非直線性、アンプの広域出力によるノイズの追加、内部200kHzクロックのカップリングによるディスクリット周波数のスプリアス・トーンを考慮します。対象帯域ではエイリアス干渉を削除できず、観察される性能が低下します。最適な性能を得るには、高速サンプリングと適切な帯域幅の制限フィルタ処理を組み合わせる必要があります。

## アプリケーション情報

### アプリケーション回路

ほとんどのアプリケーションでは、1 個の 1  $\mu\text{F}$  コンデンサで電源ノイズから加速度センサーを十分にデカップリングできます。出力の帯域制限フィルタは、帯域外ノイズと信号を抑制します。100 pF ~ 22 nF の容量性負荷が推奨されます。

出力アンプは、最大 2 mA までのソース電流で抵抗負荷を駆動できます。例えば、5 V 動作では、2.5 k $\Omega$  を超えます。出力が 100 pF 以上の容量性負荷を駆動する場合、アンプの安定性を維持するため、8 k $\Omega$  以上の直列抵抗が必要になります。

非アクティブな場合、ST ピンと STANDBY ピンは強制的にローになります。オーバーレンジ・インジケータは、システムのステータスを監視して識別できる出力です。

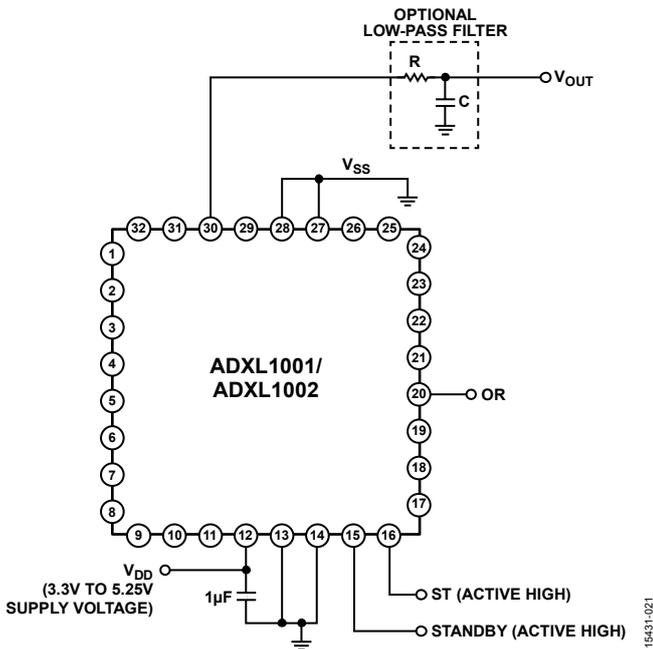


図 22. ADXL1001/ADXL1002 アプリケーション回路

### オンデマンド・セルフ・テスト

ADXL1001/ADXL1002 では、完全に統合された電気機械式セルフ・テスト機能が設計されています。この機能は、加速度センサーのブルーフ・マスを静電的に作動させ、容量感知指標から変位させます。この変位は、外部加速度入力の結果として発生する変位と同じです。ブルーフ・マスの変位は、+ の加速度出力信号と同じ回路で処理され、センサー・システムの電気応答および機械応答の両方の範囲に完全に対応します。

セルフ・テスト機能は、次の手順で実行できます。

1. 出力電圧を測定します。
2. ST ピンを  $V_{DD}$  に設定してセルフ・テストをオンにします。
3. 出力電圧を再度測定します。
4. 2 つの測定値を差し引いて、必要に応じて図 23 の電源電圧による応答曲線を考慮しながら、この結果を表 1 の期待値と比較します。

ST ピンを  $V_{DD}$  に設定すると、通常の動作中にいつでもセルフ・テスト機能を有効にできます。セルフ・テストでは、ST ピンのアサーションから結果の生成まで約 300  $\mu\text{s}$  かかり、加速度の出力は ST ピンのリリース後に約 300  $\mu\text{s}$  で返されます。セルフ・テスト測定の実行中は、加速度センサーの出力を使用して、外部加速度を測定しないでください。

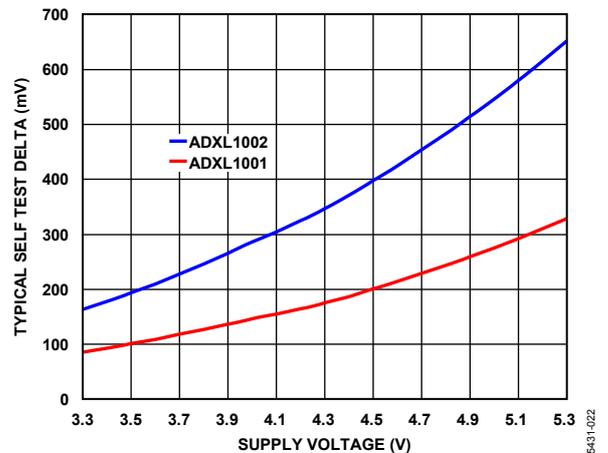


図 23. ADXL1002 典型的なセルフ・テストのデルタと電源の関係

### 比例出力電圧

ADXL1001/ADXL1002 は  $V_{DD} = 5.0 \text{ V}$  で試験および仕様規定されていますが、3.3 V の低い  $V_{DD}$  または 5.25 V の高い  $V_{DD}$  でも駆動できます。一部の性能パラメータは、電源電圧が変わると変化します。

ADXL1001/ADXL1002 の出力は電源電圧  $V_{DD}$  に比例するので、出力感度 (またはスケール・ファクタ) は電源電圧に比例して変化します。通常、 $V_{DD} = 5.0 \text{ V}$  では、出力感度は ADXL1002 および ADXL1001 で、それぞれ 40 mV/g と 20 mV/g になります。

ゼロ g バイアス出力も電源電圧に比例し、通常は公称のミッドスケール ( $V_{DD}/2$ ) になります。

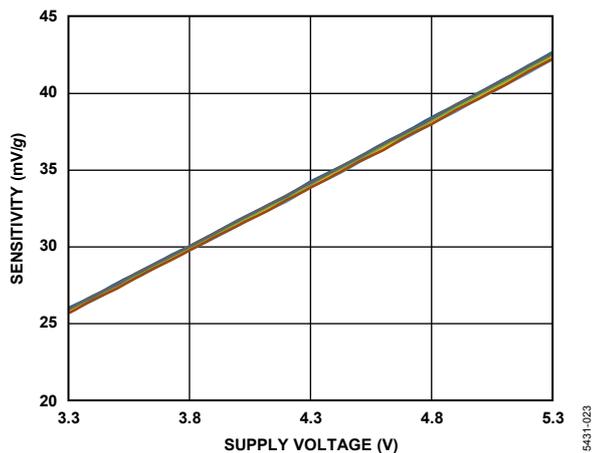


図 24. ADXL1002 感度と電源電圧の関係

### 10 KHZ 未満のアナログ出力のインターフェース

ADXL1001/ADXL1002 は、1 軸の周りで機械動作を感知し、出力電圧を生成します。システム性能は、感知された機械振動による出力応答と電気出力の信号処理によって異なります。

センサーには、効果的な機械式カップリングを施す必要があります。機械式カップリングでは、(通常、各アプリケーションにとってユニークな) 複数の部品が複雑に統合されることがあります。MEMS の PCB への取り付け (PCB の位置とハンダ処理に使用する薬品)、PCB の寸法 (厚みと有効な表面積の両方)、監視されるシステムへの PCB の取り付け (モジュール内または直接取り付け) を含むすべての機械式インターフェースを考慮する必要があります。

一般に、有効な機械式インターフェースの次のガイドラインを使用して、最大 10 kHz の帯域幅をサポートする必要があります。

- ADXL1001/ADXL1002 を PCB の安定した機械式マウントの近くに配置します。
- 複数の支持点を用意します。
- PCB を厚くし、PCB の表面積が広くなることを避けます。これにより、振幅が大きく、周波数の低い共振が誘導されます。
- 機械応力を所望の周波数で転送するため、機械をしっかり接続してください。10 kHz を下回る場合は、注意を払った上で、磁気または接着剤を使用した取り付けが可能になります。EVAL-ADXL1001Z および EVAL-ADXL1002Z 評価用ボードをリファレンスとして使用できます。

ADXL1001/ADXL1002 の電気出力は、センサーの周波数を超える帯域幅をサポートします。ADXL1001/ADXL1002 の出力アンプの小信号帯域幅は 70 kHz です。デジタル化プロセスの最中は、(高周波ノイズと信号が、所望の周波数に折り返される) エイリアシングが発生する可能性があります。アンプやその他の内部回路からのエイリアシング・ノイズ (内部 200 kHz クロックのカップリングなど) を避けるため、外部フィルタを所望の周波数で実装し、アンプの帯域幅よりも速い ADC サンプルング・レートを選択することを推奨します。

出力アンプは電源電圧に比例し、デジタル変換に関しては、次のような 2 つの異なるケースがあります。

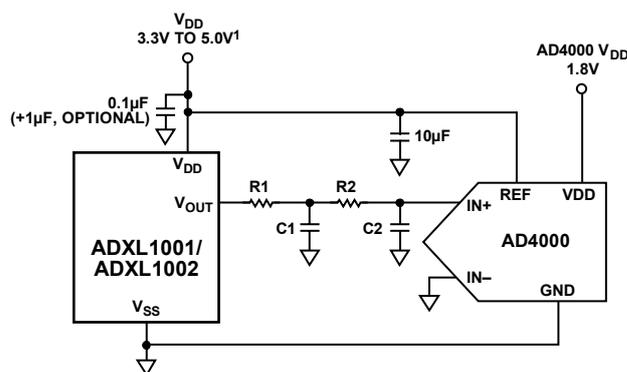
- $V_{DD}$  電圧をリファレンスとして使用できる加速度センサーの ADC ダウンストリームがあります。この場合、電圧電源の許容誤差と電圧の温度係数 (共通で外部レギュレータと関連付けられる) は、センサーと ADC の間を追跡するので、電源とリファレンス電圧によって発生する誤差が相殺されます。この設計方法が推奨されます。

- ADC が何らかの理由でセンサーと同じ 5 V 電圧を参照できない場合、デジタル化されたセンサー出力の感度は、レギュレータの許容誤差と温度係数を反映します。

ADXL1001/ADXL1002 出力アンプは安定して動作し、直列抵抗なしで最大 100 pF の容量性負荷を直接駆動します。負荷が 100 pF を超える場合は、8 kΩ 以上の直列抵抗を使用する必要があります。

AD4000 ADC を使用して 0 kHz ~ 5 kHz までの機械振動を測定する部品を含むインターフェースの例については、図 25 を参照してください。5 kHz のパスバンドでは、1 極 RC フィルタを使用できますが、アプリケーションによっては、より強力なフィルタと低いサンプル・レートを使用します。ADXL1001/ADXL1002 の出力に 2 極の RC フィルタを形成するには、次の部品が推奨されます。R1=91 kΩ、C1=330 pF、R2=0 Ω、C2=不要。エイリアシングを避けるため、16 kHz の最低 ADC サンプル・レートをお勧めします。

0 kHz ~ 10 kHz までの機械振動を測定する部品を含むインターフェースの例については、図 25 を参照してください。ADXL1001/ADXL1002 の出力に 2 極の RC フィルタを形成するには、次の部品が推奨されます。R1=16 kΩ、C1=300 pF、R2=32 kΩ、C2=300 pF。エイリアシングを避けるため、32 kHz の最低 ADC サンプル・レートをお勧めします。2 極 RC フィルタは、内部クロック周波数 200 kHz で約 84 dB の減衰を生成します。



13.3V LIMITED BY ADXL1001/ADXL1002; 5.0V LIMITED BY AD4000

図 25. ADXL1001/ADXL1002 のアプリケーション回路

## 10 KHZ を超えるアナログ出力のインターフェース

ADXL1001/ADXL1002 は、センサーの共振周波数の範囲を超える出力信号パスバンドを提供する、高周波、2 軸 MEMS 加速度センサー・デバイスです。出力 3 dB の周波数応答の帯域幅は約 11 kHz ですが（これは 3 dB の応答で、この周波数で感度のゲインがあることを意味します）、この範囲を超える周波数を観察することが望ましい場合があります。これに対応するため、ADXL1001/ADXL1002 出力アンプは 70 kHz の小さな信号帯域幅をサポートします。この帯域幅はセンサーの共振周波数を十分に超えるものです。

MEMS アプリケーションにおいて正確で再現性の高い結果を得るには、機械式インターフェースが常に重要ですが、数千ヘルツを超える周波数を測定する場合は特に重要になります。通常、磁気や接着剤による取り付けは、このような周波数で機械振動を正常に転送するには十分ではありません。これらのアプリケーションでは、機械式システム分析が必要です。

10 kHz を超える周波数で ADXL1001/ADXL1002 を使用する場合は、センサーの共振周波数による非直線性、アンプの広域出力によるノイズの追加、内部 200 kHz クロックのカップリングによるディスクリット周波数のスプリアス・トーンを考慮します。所望の帯域でエイリアス干渉があると、観察される性能が低下します。最適な性能を得るには、高速サンプリングと適切なフィルタ処理を組み合わせる必要があります。

21 kHz のセンサー共振周波数による影響が、最初の考慮事項です。この周波数の付近またはこの周波数を超える場合、入力ノイズに対する周波数の応答は、図 4 に示すようにピークを迎えます。共振の付近または共振を超える周波数では、出力応答が直線性のある応答範囲の外側に來るので、感度は低周波数で観察される場合と異なります。通常、これらの周波数範囲では、（絶対値ではなく）時間の経過に伴う相対的な応答が観察されます。

ADXL1001/ADXL1002 出力アンプの小信号帯域幅は 70 kHz です。所望の帯域で帯域外ノイズのエイリアシングが発生しないようにするには、適切な信号フィルタ処理を施してデバイスを接続する必要があります。アンプ周波数応答のロールオフは、70 kHz では 1 極、ローパス・フィルタでモデリングできます。追加の外部ローパス・フィルタがない場合、高周波ノイズのエイリアシングを避けるため、次のように 1 極、ローパス・フィルタの等価ノイズ帯域 (ENBW) の 2 倍以上のサンプリング・レートを選択します。

$$ENBW = \frac{\pi}{2} \times 70 \text{ kHz} \approx 110 \text{ kHz}$$

この場合、サンプリング・レートは 220 kHz 以上にする必要があります。このサンプリング・レートは、折り返し（エイリアシング）インバンドによるアンプからの広域ノイズの削減には対応しますが、エイリアシング・インバンドからの帯域外信号は防止しません。帯域外応答を防ぐには、外部ローパス・フィルタ処理を追加する必要があります。

これ以外にも、200 kHz での内部クロック信号が出力信号にカップリングされる問題に対応する必要があります。このクロック・スプリアスは、結果の分析に影響を与えないように、アナログ・フィルタまたはデジタル・フィルタで処理する必要があります。

例えば、広帯域幅アプリケーションで rms ノイズ とノイズの密度を最も低くするには、200 kHz の内部クロック信号のフィルタ処理が十分な場合は、ADXL1001/ADXL1002 の出力で 1 つ以上の複数次のローパス・フィルタと、所望の帯域幅の 4 倍以上のデジタル化サンプリング・レートを使用することをお勧めします。デジタル・ローパス・フィルタで同様の性能を得るには、1 MSPS 以上の ADC サンプル・レートを使用します。

## オーバーレンジ

ADXL1001/ADXL1002 には、オーバーレンジ（フルスケール・レンジの 2 倍以上の加速度）の場合に信号で通知する出力 (OR ピン) があります。内蔵のオーバーレンジ検出回路は、指定された g 範囲の約 2 倍になると、重大なオーバーレンジが発生したことを示すアラートを出力します。オーバーレンジが検出されると、200 μs にわたりセンサーに対して内部クロックが無効になります。オーバーレンジの発生中は、センサー素子が最大限に保護されます。オーバーレンジが持続すると、オーバーレンジ検出回路は、約 500 μs ごとに定期的にトリガします。

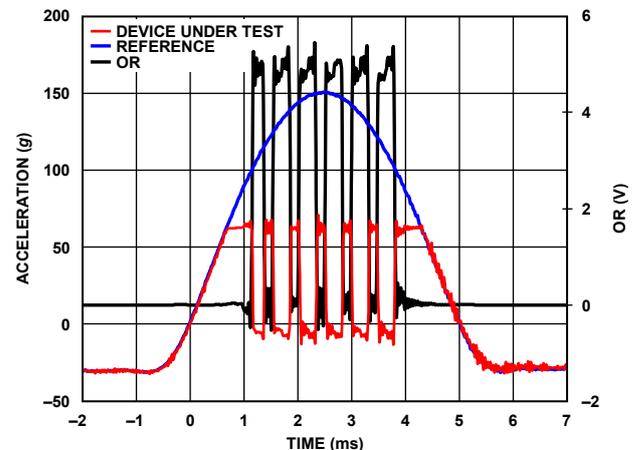


図 26. オーバーレンジが続く場合の ADXL1001/ADXL1002 の動作

取付けに関する機構上の留意点

ADXL1001/ADXL1002は、PCBの支持点近くで取り付けることを推奨します。ADXL1001/ADXL1002をプリント回路基板上のしっかりと固定されていない位置に取り付けると（図27を参照）、基板の振動が減衰されず、顕著な測定誤差が生じる場合があります。加速度センサーを支持点の近くに配置すれば、加速度センサー位置での基板振動が、加速度センサーの共振周波数を上回るため、加速度センサーによって検知されなくなります。センサーの近くに複数の支持点を設けたり、プリント基板を厚くしたりすることも、システム共振のセンサー性能に対する影響の低減にとって効果的です。

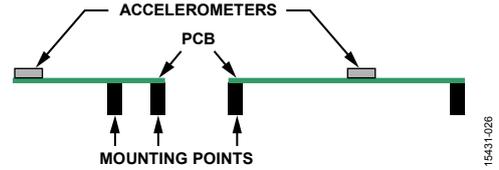


図27. 加速度センサーの不適切な配置

レイアウトと設計の推奨事項

図28に、推奨するプリント回路基板のランド・パターンを示します。

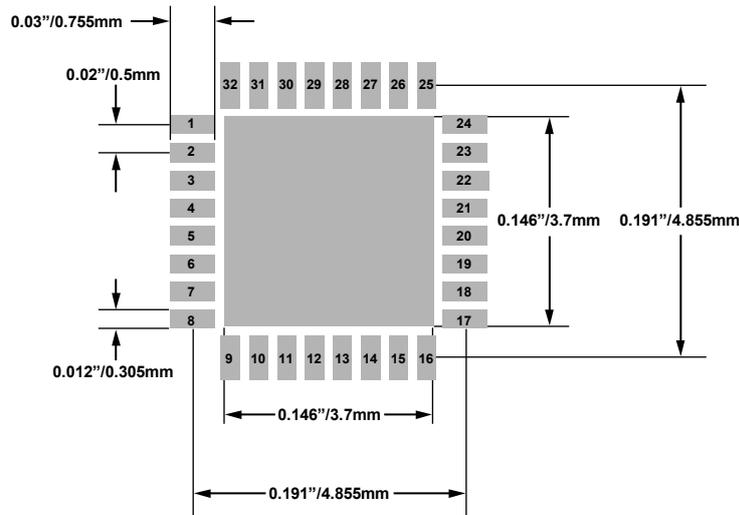
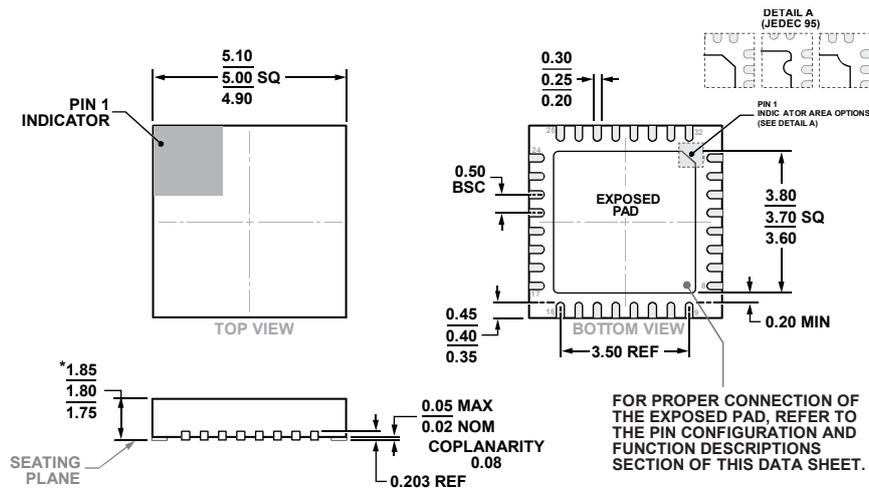


図28. 推奨されるプリント配線基板のランド・パターン

外形寸法



\*COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MO-220-VHHD-4 WITH EXCEPTION TO PACKAGE HEIGHT.

図 29.32 ピン・リードフレーム・チップ・スケール・パッケージ (LFCSP)  
5 mm × 5 mm ボディ、1.8 mm パッケージ高  
(CP-32-26)  
寸法: mm

オーダー・ガイド

Model <sup>1</sup>	Temperature Range	g Range	Package Description	Package Option
ADXL1001BCPZ	-40°C to +125°C	±100 g	32-Lead Lead Frame Chip Scale Package [LFCSP]	CP-32-26
ADXL1001BCPZ-RL	-40°C to +125°C	±100 g	32-Lead Lead Frame Chip Scale Package [LFCSP]	CP-32-26
ADXL1001BCPZ-RL7	-40°C to +125°C	±100 g	32-Lead Lead Frame Chip Scale Package [LFCSP]	CP-32-26
ADXL1002BCPZ	-40°C to +125°C	±50 g	32-Lead Lead Frame Chip Scale Package [LFCSP]	CP-32-26
ADXL1002BCPZ-RL	-40°C to +125°C	±50 g	32-Lead Lead Frame Chip Scale Package [LFCSP]	CP-32-26
ADXL1002BCPZ-RL7	-40°C to +125°C	±50 g	32-Lead Lead Frame Chip Scale Package [LFCSP]	CP-32-26
EVAL-ADXL1002Z			ADXL1002 Evaluation Board	
EVAL-ADXL1001Z			ADXL1001 Evaluation Board	

<sup>1</sup> Z = RoHS 準拠製品