

# デジタル出力付き低価格 $\pm 2g$ 2 軸 iMEMS 加速度センサー

## ADXL202E\*

### 特長

2 軸加速度センサーをシングル IC チップに集積  
5mm × 5mm × 2mm 超小型パッケージ  
60Hz 帯域幅で 2mg の分解能  
低消費電力 < 0.6mA  
マイクロコントローラとのダイレクト・インターフェース  
1 個のキャパシタで帯域幅調整可能  
+3V ~ +5.25V の単電源動作  
対衝撃 1000g

### アプリケーション

電解型、水銀型、圧電型センサーより高速応答の傾斜検出  
コンピュータ周辺装置  
警報機、モーション検知器  
情報端末  
ディスク・ドライブ  
自動車セキュリティ

### 概要

ADXL202E は、デジタル出力を備え、1つのモノリシック IC 上に必要機能をすべて集積した、低価格かつ低消費電力の 2 軸加速度センサーです。従来品である ADXL202AQC/JQC の改良バージョンで、 $\pm 2g$  のフル・スケールレンジで加速度を計測します。ADXL202E は、動的加速度（振動など）と静的加速度（重力など）を計測することができます。

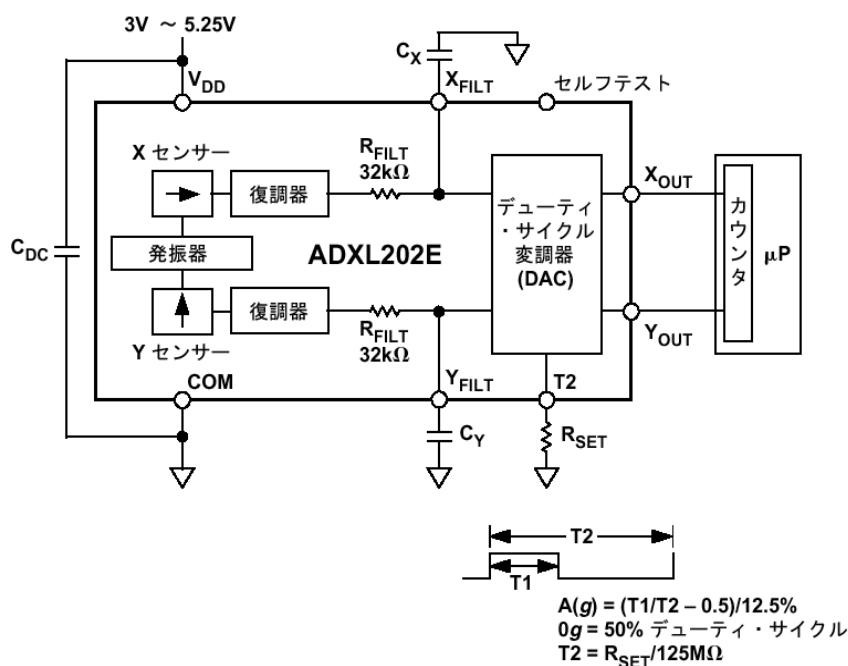
出力は、アナログ電圧出力および加速度に比例したデューティ・サイクル（周期に対するパルス幅の比）のデジタル出力です。デューティ・サイクル出力は、A/D コンバータやその他の外付けロジックを必要とせず、マイクロプロセッサのカウンタで直接計測することができます。デューティ・サイクルの周期は、1つの抵抗 ( $R_{SET}$ ) を使って、0.5ms ~ 10ms の範囲に設定することができます。

ノイズ・フロアは、 $200 \mu g / \sqrt{Hz}$  (typ) であり、60Hz の帯域幅に対して、2mg 未満 (RMS) の分解能で加速度を計測できます。

加速度センサーの帯域幅は、 $X_{FILT}$  ビンと  $Y_{FILT}$  にキャパシタ  $C_X$  と  $C_Y$  を接続することで設定します。また、デューティ・サイクル出力をフィルタリングすることによって、アナログ出力を得ることもできます。

ADXL202E は、8 ピンの 5mm × 5mm × 2mm ハーメチック LCC パッケージを採用しています。

機能ブロック図



\*特許申請中

iMEMS は、アナログ・デバイス社の登録商標です。

REV.A

アナログデバイス社が提供する情報は、正確で信頼できるものを期していますが、当社はその情報の利用、また利用したことにより引き起こされる第三者の特許または権利の侵害に関して一切の責任を負いません。さらにアナログ・デバイス社の特許の権利の使用を許諾するものではありません。

アナログ・デバイス株式会社

|         |                               |                   |           |
|---------|-------------------------------|-------------------|-----------|
| 本 社 /   | 東京都港区海岸1-16-1<br>ニュー・ア竹芝サウスビル | : 03(5402)8200    | 〒105-6891 |
| 大阪営業所 / | 大阪府淀川区宮原3-5-36<br>新大阪第2森ビル    | : 06(6350)6868(代) | 〒532-0003 |

# ADXL202E-仕様

(特に指定のない限り、 $T_A = T_{MIN} \sim T_{MAX}$ 、 $T_A = 25$  (Jグレードのみ)、 $V_{DD} = 5V$ 、 $R_{SET} = 125k\Omega$ 、加速度 = 0g)

| パラメータ                        | 条件                           | TPC <sup>1</sup><br>グラフ | ADXL202JE     |                             |      | ADXL202AE     |                             |      | Unit    |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------|-----------------------------|------|---------------|-----------------------------|------|---------|
|                              |                              |                         | Min           | Typ                         | Max  | Min           | Typ                         | Max  |         |
| センサー入力                       | 各軸                           |                         |               |                             |      |               |                             |      |         |
| 計測範囲 <sup>2</sup>            |                              |                         | ± 2           |                             |      | ± 2           |                             |      | g       |
| 非直線性                         | 最適直線                         |                         |               | 0.2                         |      |               | 0.2                         |      | % of FS |
| アライメント誤差 <sup>3</sup>        |                              | 15                      |               | ± 1                         |      |               | ± 1                         |      | Degrees |
| アライメント誤差                     | XセンサーとYセンサーの間                |                         |               | 0.01                        |      |               | 0.01                        |      | Degrees |
| 他軸感度 <sup>4</sup>            | X,Y,Z軸ともに                    | 17                      |               | ± 2                         |      |               | ± 2                         |      | %       |
| 感度                           | 各軸                           |                         |               |                             |      |               |                             |      |         |
| 1gあたりのデューティ・サイクル             | T1/T2、 $V_{DD} = 5V$         | 11,12                   | 10.5          | 12.5                        | 14.5 | 10            | 12.5                        | 15   | %/g     |
| 1gあたりのデューティ・サイクル             | T1/T2、 $V_{DD} = 3V$         | 8,9                     | 9.0           | 11                          | 13.0 | 8.5           | 11                          | 13.5 | %/g     |
| 感度 $X_{FILT}$ 、 $Y_{FILT}$   | $V_{DD} = 5V$                | 6,10                    | 265           | 312                         | 360  | 250           | 312                         | 375  | mV/g    |
| 感度 $X_{FILT}$ 、 $Y_{FILT}$   | $V_{DD} = 3V$                | 3,7                     | 140           | 167                         | 195  | 140           | 167                         | 200  | mV/g    |
| 温度ドリフト <sup>5</sup>          | +25 からの変化                    | 20,23                   |               | ± 0.5                       |      |               | ± 0.5                       |      | %       |
| ゼロgバイアス・レベル                  | 各軸                           |                         |               |                             |      |               |                             |      |         |
| 0gデューティ・サイクル                 | T1/T2、 $V_{DD} = 5V$         |                         | 34            | 50                          | 66   | 30            | 50                          | 70   | %       |
| 0gデューティ・サイクル                 | T1/T2、 $V_{DD} = 3V$         |                         | 31            | 50                          | 69   | 31            | 50                          | 69   | %       |
| 0g電圧 $X_{FILT}$ 、 $Y_{FILT}$ | $V_{DD} = 5V$                | 4,5                     | 2.1           | 2.5                         | 2.9  | 2.0           | 2.5                         | 3.0  | V       |
| 0g電圧 $X_{FILT}$ 、 $Y_{FILT}$ | $V_{DD} = 3V$                | 1,2                     | 1.2           | 1.5                         | 1.8  | 1.2           | 1.5                         | 1.8  | V       |
| 0gデューティ・サイクル対電源電圧            |                              |                         |               | 1.0                         | 4.0  |               | 1.0                         | 4.0  | %/V     |
| 0gオフセット対温度 <sup>5</sup>      | +25 からの変化                    | 19,22                   |               | 2.0                         |      |               | 2.0                         |      | mg/     |
| ノイズ特性                        |                              |                         |               |                             |      |               |                             |      |         |
| ノイズ密度                        | +25 時                        | 13,16                   |               | 200                         |      |               | 200                         | 1000 |         |
| 周波数応答                        |                              |                         |               |                             |      |               |                             |      |         |
| 3dB帯域幅                       | $X_{FILT}$ ピン、 $Y_{FILT}$ ピン |                         |               | 6                           |      |               | 6                           |      | kHz     |
| センサー共振周波数                    |                              |                         |               | 10                          |      |               | 10                          |      | kHz     |
| フィルタ                         |                              |                         |               |                             |      |               |                             |      |         |
| $R_{FILT}$ 許容誤差              | 公称32k $\Omega$               |                         |               | ± 15                        |      |               | ± 15                        |      | %       |
| 最小容量                         | $X_{FILT}$ 、 $Y_{FILT}$ ピン   |                         | 1000          |                             |      | 1000          |                             |      | pF      |
| セルフテスト                       |                              |                         |               |                             |      |               |                             |      |         |
| デューティ・サイクル変化                 | "0"から"1"でセルフテスト              |                         |               | 10                          |      |               | 10                          |      | %       |
| デューティ・サイクル出力ステージ             |                              |                         |               |                             |      |               |                             |      |         |
| $F_{SET}$                    | $R_{SET} = 125k\Omega$       |                         | 0.7           |                             | 1.3  | 0.7           |                             | 1.3  | kHz     |
| 出力High電圧                     | $I = 25\mu A$                |                         | $V_S - 200mV$ |                             |      | $V_S - 200mV$ |                             |      | V       |
| 出力Low電圧                      | $I = 25\mu A$                |                         |               |                             | 200  |               |                             | 200  | mV      |
| T2ドリフト対温度                    |                              | 25                      |               | 50                          |      |               | 50                          |      | ppm/    |
| 立上がり/立下がり時間                  |                              |                         |               | 200                         |      |               | 200                         |      | ns      |
| 電源                           |                              |                         |               |                             |      |               |                             |      |         |
| 動作電圧範囲                       |                              |                         | 3             |                             | 5.25 | 3.0           |                             | 5.25 | V       |
| 静止電源電流                       |                              | 14                      |               | 0.6                         | 1.0  |               | 0.6                         | 1.0  | mA      |
| ターンオン時間                      | $C_{FILT}$ [μF]              | 18                      |               | $160 \times C_{FILT} + 0.3$ |      |               | $160 \times C_{FILT} + 0.3$ |      | ms      |
| 温度範囲                         |                              |                         |               |                             |      |               |                             |      |         |
| 仕様性能 AE                      |                              |                         |               |                             |      | -40           |                             | +85  |         |
| 動作範囲                         |                              |                         | 0             |                             | 70   | -40           |                             | +85  |         |

注

<sup>1</sup> Typical Performance Characteristics: 代表的な性能特性 (p.4 ~ 8参照)。

<sup>2</sup> 初期オフセットと感度の測定により保証。

<sup>3</sup> アライメント誤差は、感度軸の理想の方向に対する実質の軸方向のなす角で規定。(TPC15参照)

<sup>4</sup> 他軸感度は、アライメント誤差と固有感度誤差の代数和。

<sup>5</sup> 常温から最大温度もしくは、常温から最小温度における出力の変化として定義。

仕様は予告なく変更されることがあります。

## 絶対最大定格\*

|                       |               |
|-----------------------|---------------|
| 加速度 (任意軸、電源切断時 0.5ms) | 1000g         |
| 加速度 (任意軸、電源印加時 0.5ms) | 500g          |
| +V <sub>s</sub>       | -0.3V ~ +6.0V |
| 出力短絡時間 (任意のピンをコモンに接続) | 無限            |
| 動作温度                  | -55 ~ +125    |
| 保存温度                  | -65 ~ +150    |

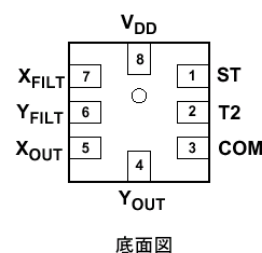
\*上記の絶対最大定格を超えるストレスを加えるとデバイスに永久的な損傷を与えることがあります。この規定はストレス定格の規定のみを目的とするものであり、この仕様の動作セクションに記載する規定値以上でのデバイス動作を定めたものではありません。デバイスを長時間絶対最大定格状態に置くとデバイスの信頼性に影響を与えます。

堅い表面に落下させ 1000g を超える衝撃を与えて、デバイスの絶対最大定格を超えてしまうことがあります。損傷を与えないように取り扱いには十分注意してください。

## パッケージ特性

| パッケージ    | $\theta_{JA}$ | $\theta_{JC}$ | デバイス重量    |
|----------|---------------|---------------|-----------|
| 8 ピン LCC | 120 /W        | Tbd /W        | 1.0 グラム以下 |

## ピン配置



底面図

## ピン機能説明

| ピン番号 | 記号    | 説明                                 |
|------|-------|------------------------------------|
| 1    | ST    | セルフテスト                             |
| 2    | T2    | T2 周期を設定するために R <sub>SET</sub> を接続 |
| 3    | COM   | コモン                                |
| 4    | YOUT  | Y 軸デューティ・サイクル出力                    |
| 5    | XOUT  | X 軸デューティ・サイクル出力                    |
| 6    | YFILT | Y 軸フィルタ用のキャパシタを接続                  |
| 7    | XFILT | X 軸フィルタ用のキャパシタを接続                  |
| 8    | VDD   | 3V ~ 5.25V                         |

## オーダー・ガイド

| モデル       | 軸 | 動作電圧範囲    | 温度範囲      | パッケージ    | パッケージ・オプション |
|-----------|---|-----------|-----------|----------|-------------|
| ADXL202JE | 2 | +3V ~ +5V | 0 ~ +70   | 8 ピン LCC | E-8         |
| ADXL202AE | 2 | +3V ~ +5V | -40 ~ +85 | 8 ピン LCC | E-8         |

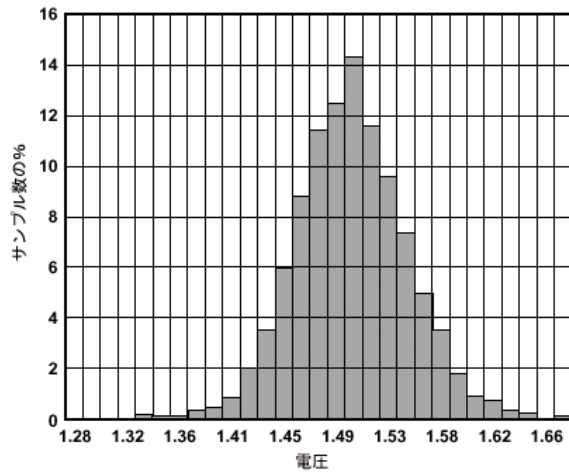
## 注意

ESD (Electrostatic Discharge : 静電放電) の影響を受けやすいデバイスです。4000V もの高圧の静電気が人体やテスト装置に容易に帯電し、検知されことなく放電されることがあります。この ADXL202 には当社独自の ESD 保護回路が備えられていますが、高エネルギーの静電放電にさらされたデバイスには回復不能な損傷が残ることがあります。したがって、性能低下や機能喪失を避けるために、適切な ESD 予防措置をとるようお勧めします。



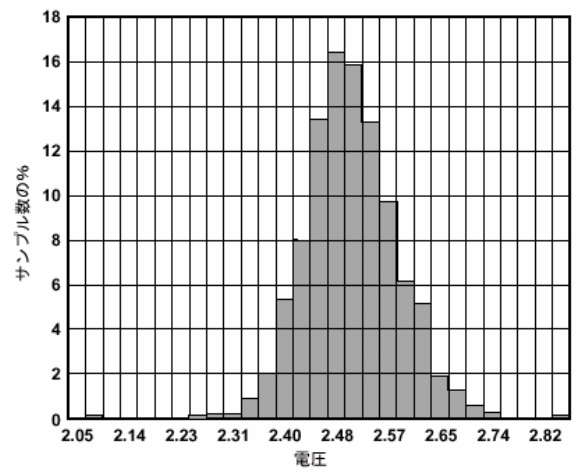
# ADXL202E – 代表的な性能特性\*

$V_{DD} = 3V$

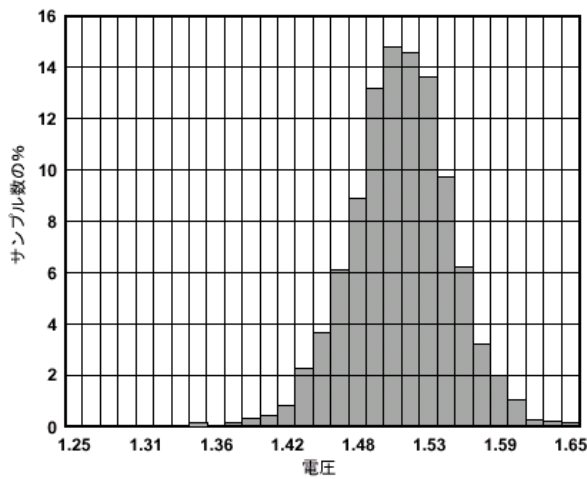


TPC 1. X軸0gバイアス分布  $X_{FILT}$ ,  $V_{DD} = 3V$

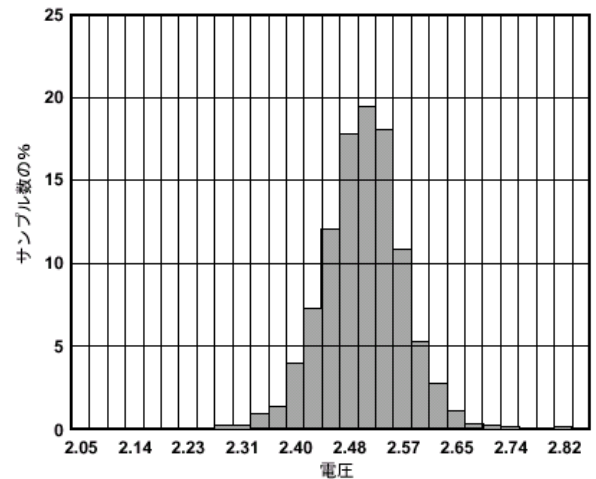
$V_{DD} = 5V$



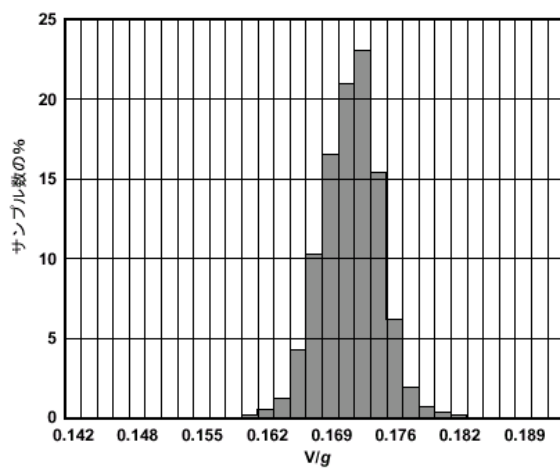
TPC 4. X軸0gバイアス分布  $X_{FILT}$ ,  $V_{DD} = 5V$



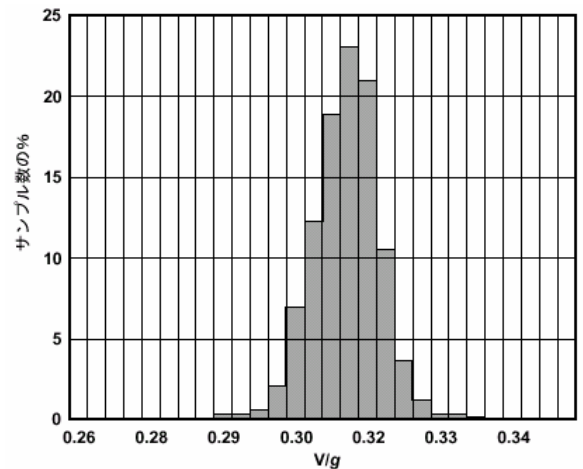
TPC 2. Y軸0gバイアス分布  $Y_{FILT}$ ,  $V_{DD} = 3V$



TPC 5. Y軸0gバイアス分布  $Y_{FILT}$ ,  $V_{DD} = 5V$



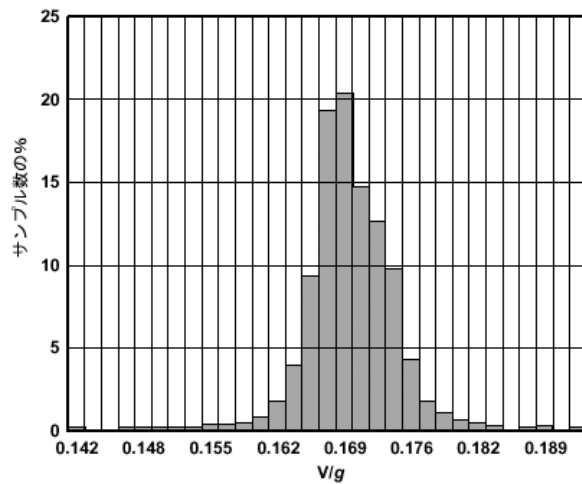
TPC 3. X軸感度分布  $X_{FILT}$ ,  $V_{DD} = 3V$



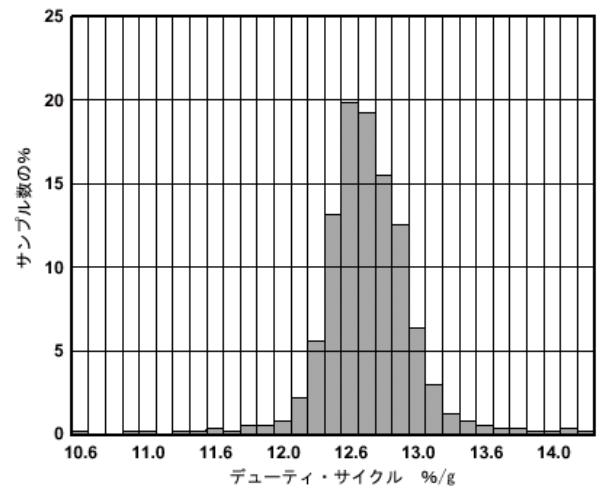
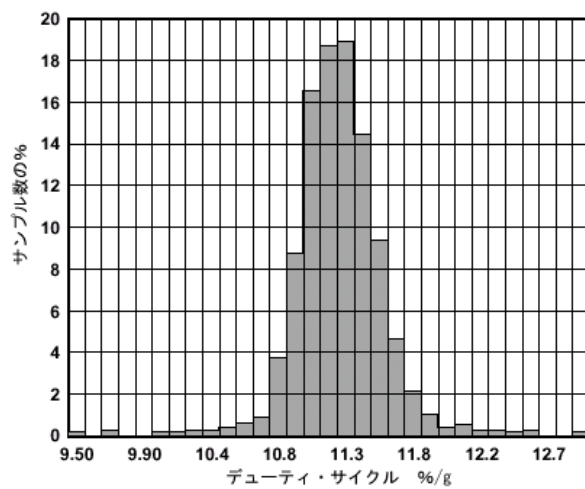
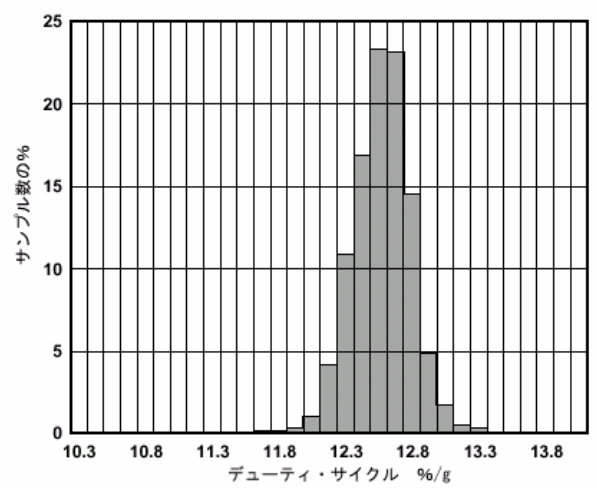
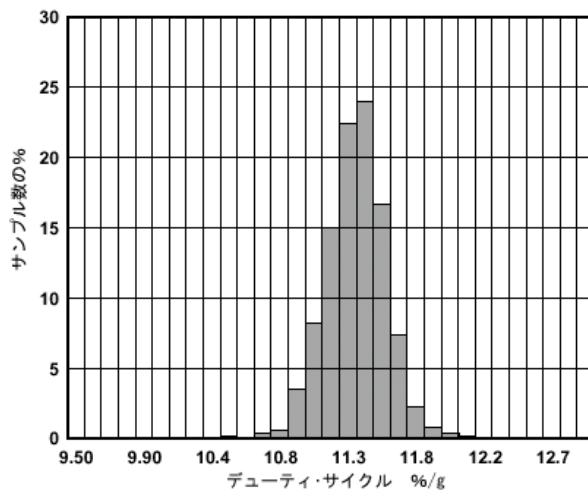
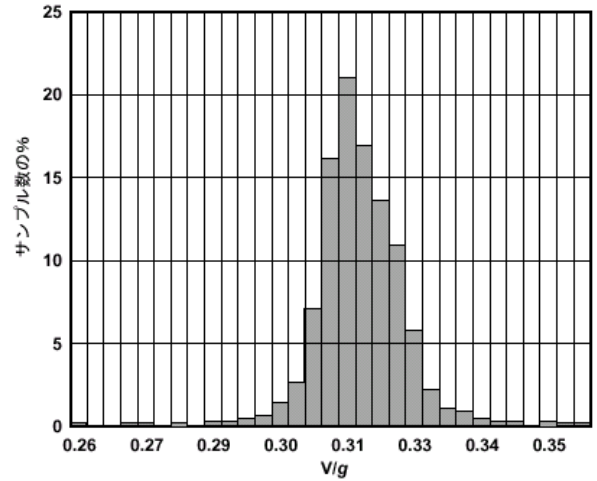
TPC 6. X軸感度分布  $X_{FILT}$ ,  $V_{DD} = 5V$

\*データは、最低3ロット以上、4500パーツに対して測定しています。

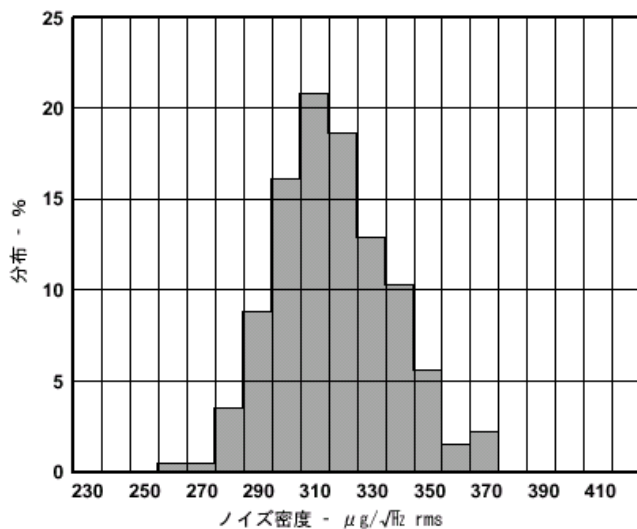
$V_{DD} = 3V$



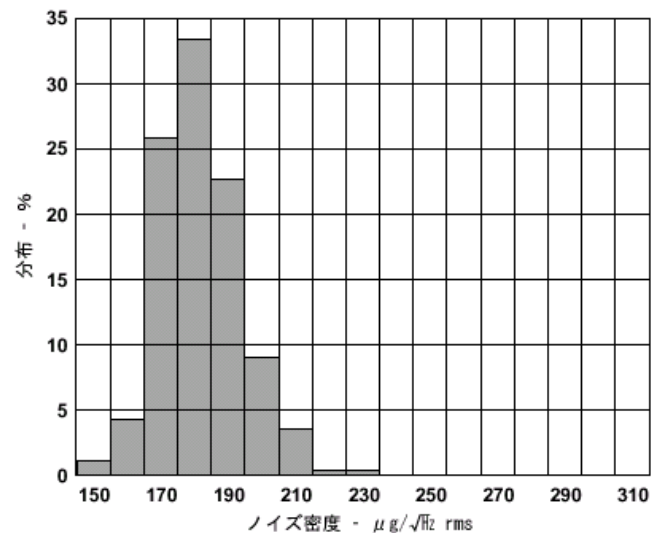
$V_{DD} = 5V$



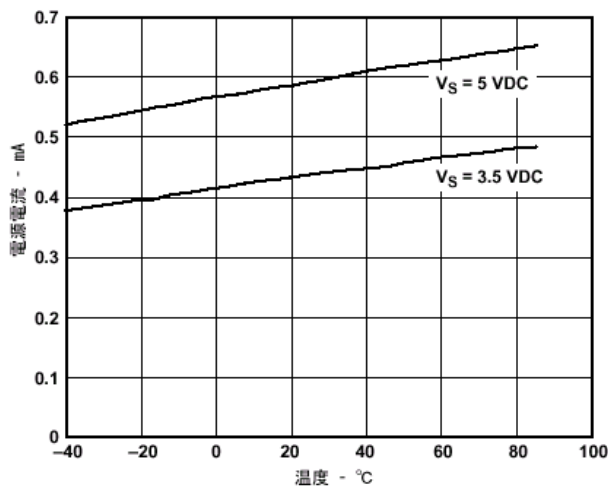
# ADXL202E



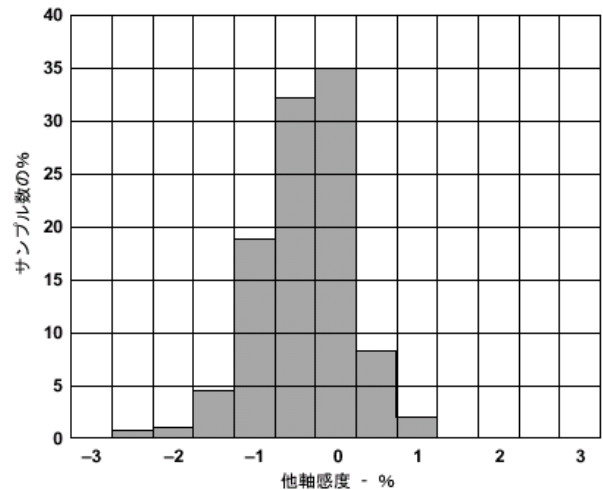
TPC 13. ノイズ密度分布,  $V_{DD} = 3\text{ V}$



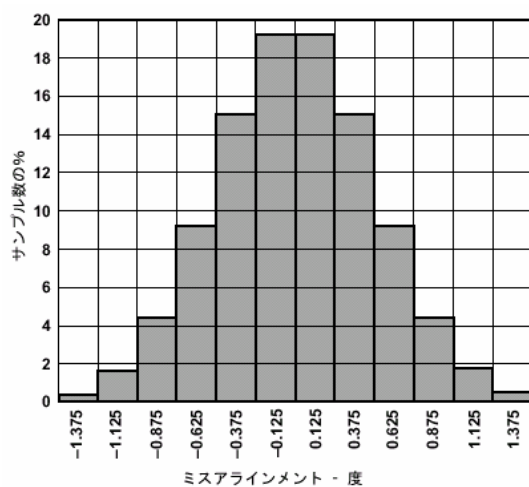
TPC 16. ノイズ密度分布,  $V_{DD} = 5\text{ V}$



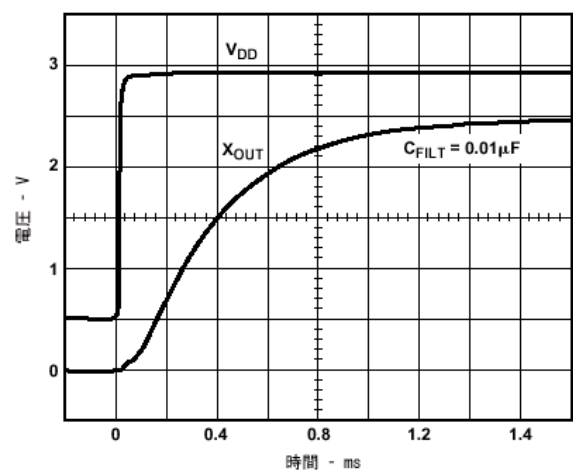
TPC 14. 電源電流 (Typ) と温度の関係



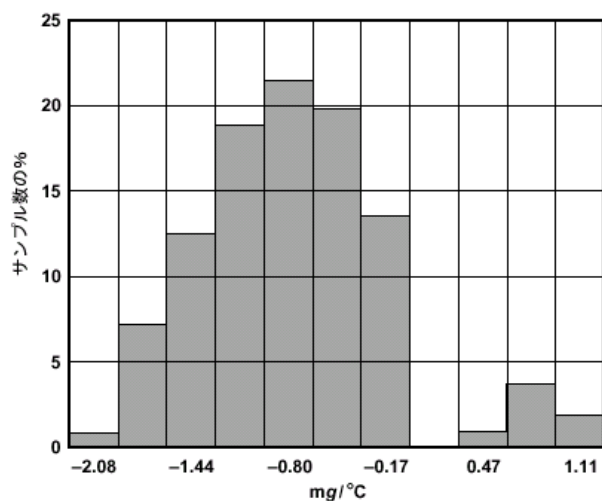
TPC 17. 他軸感度分布



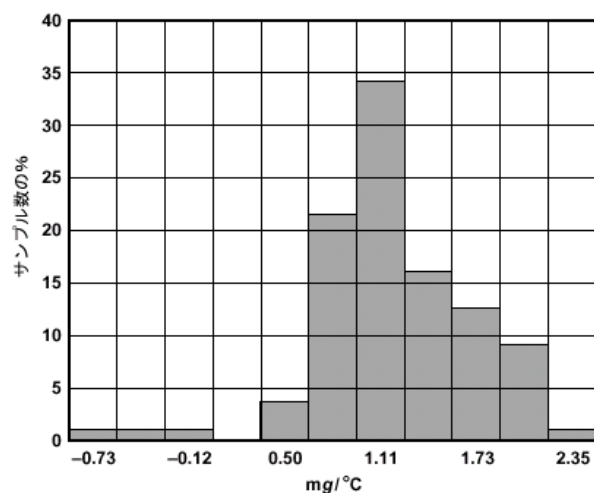
TPC 15. チップミスアラインメントの分布



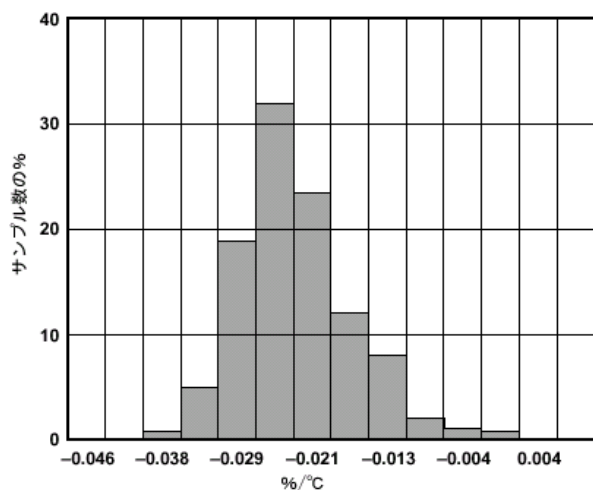
TPC 18. ターンオン時間 (Typ)



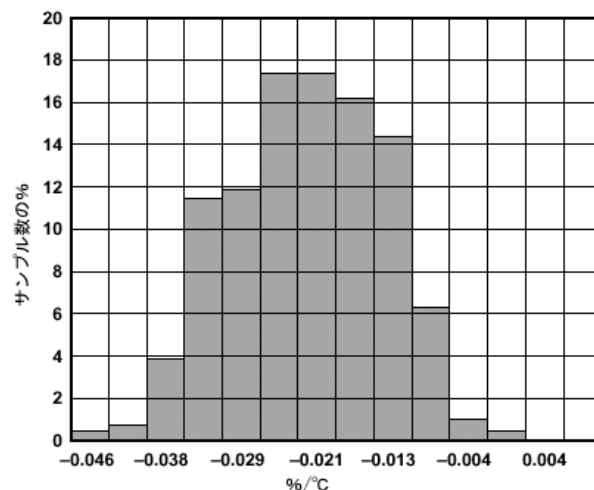
TPC 19. X軸ゼロgオフセットの温度ドリフト分布  
- 40°C ~ +85°C



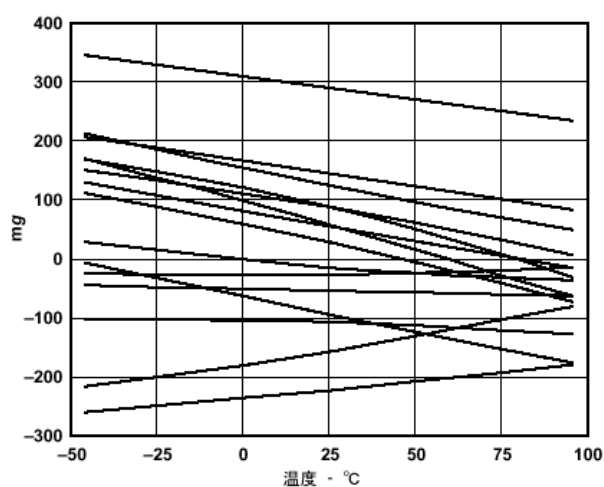
TPC 22. Y軸ゼロgオフセットの温度ドリフト分布  
- 40°C ~ +85°C



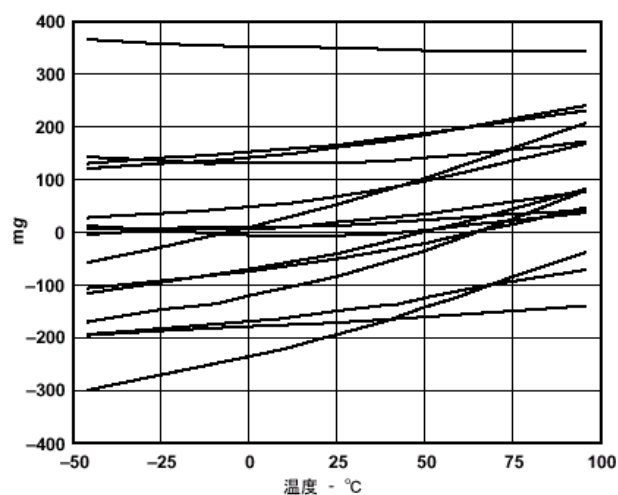
TPC 20. X軸感度の温度ドリフト、 $X_{FILT}$   
- 40°C ~ +85°C



TPC 23. Y軸感度の温度ドリフト、 $Y_{FILT}$   
- 40°C ~ +85°C

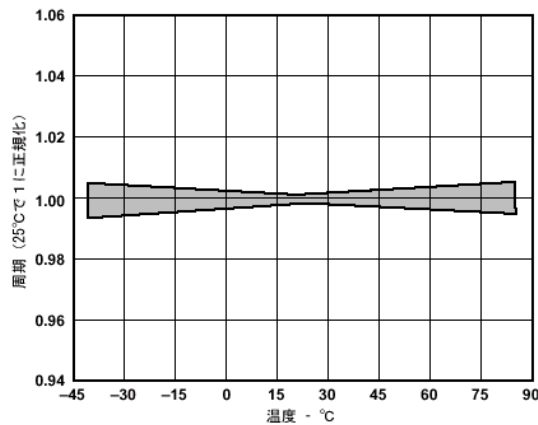


TPC 21. X軸ゼロgオフセット出力の例 (16サンプル)



TPC 24. Y軸ゼロgオフセット出力の例 (16サンプル)

# ADXL202E



TPC 25. 正規化したDCM周期 (T2)と温度の関係

## 定義

|            |                                                                |
|------------|----------------------------------------------------------------|
| T1         | サイクルの“オン”部分の長さ                                                 |
| T2         | サイクル全体の長さ                                                      |
| デューティ・サイクル | サイクル全体 (T2) に対する“オン”時間 (T1) の割合。ADXL202E では、T1/T2 として定義されています。 |
| パルス幅       | “オン”パルスの幅 (T1)。ADXL202E では、T1 として定義されています。                     |

## 動作原理

ADXL202は、1つのモノリシックIC上に必要機能を集積した自己完結型の2軸の加速度計測システムです。このICはポリシリコンの表面マイクロマシン・センサーと信号処理回路を内蔵し、オープン・ループの加速度計測アーキテクチャを実現しています。出力回路は、各軸ごとに、アナログ信号をデューティ・サイクル変調 (DCM) したデジタル信号に変換します。この信号はマイクロプロセッサのカウンタ/タイマー・ポートでデコードすることができます。ADXL202Eは、正方向、逆方向の加速度を少なくとも  $\pm 2g$  まで計測する能力があります。また、重力等の静的な加速度を計測することも可能なので、傾斜センサーとして使用できます。

このセンサーは、シリコン・ウェハー上に作られた表面マイクロマシン技術ポリシリコン構造になっています。ポリシリコンのスプリングが、この構造をウェハー表面から浮かせており、加速度による力への抵抗になっています。その構造のふれを、独立し固定された電極と可動部に取り付けられた中心電極からなる差動コンデンサを使って測定します。その固定電極は  $180^\circ$  位相のずれた方形波でドライブされます。加速度によりビームにゆれが起こり、差動コンデンサにアンバランスが発生します。その結果、加速度に比例した振幅の方形波が出力されます。位相検出復調技術を使ってその信号を整流し加速の方向を求めます。

復調器の出力は、 $32k\Omega$ の抵抗を通してデューティ・サイクル変調器 (DCM) 段をドライブします。各チャンネルのこの点にピンが設けられており、このピンにキャパシタを接続することにより、デバイスの信号帯域幅を設定することができます。このフィルタリングによって測定の分解能を改善し、エイリアジングによるノイズを削減します。

アナログ信号は、ローパス・フィルタを通過後、DCM段でデューティ・サイクル変調信号に変換されます。抵抗一つで周期 (T2) を、 $0.5ms$  から

10msの間に設定できます (図1、2 参照)。0g加速度は通常50%のデューティ・サイクルを生成します。加速度信号は、低価格のマイクロコントローラのカウンタ/タイマーやポーリング・ループ処理を使って、T1とT2のパルスの長さを測ることで求めることができます。

また、 $X_{FILT}$ ピンと $Y_{FILT}$ ピンからの信号をバッファリングするか、デューティ・サイクル信号をRCフィルタに通してDC値を再構成する事で、アナログ出力電圧を得る事もできます。

ADXL202E は3.0V から 5.25V の間の供給電圧で動作します。

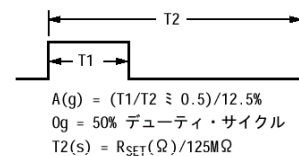


図1. デューティ・サイクル出力の例

## アプリケーション

### 電源のデカップリング

大部分のアプリケーションに対しては、1個の $0.1\mu F$ のキャパシタ $C_{DC}$ により、電源上の信号とノイズから加速度センサーを十分デカップリングすることができます。しかし、場合によっては、特にマイクロコントローラのようなデジタル・デバイスと電源を共用する場合には、電源上のデジタル・ノイズがADXL202Eの出力に影響をおよぼすことがあります。多くの場合、この影響は、 $X_{FILT}$ と $Y_{FILT}$ における電圧のゆっくりとした変動として観測されます。デカップリングの追加が必要な場合は、 $100\Omega$  (またはそれ以下) の抵抗もしくはフェライト・ビーズをADXL202Eの電源ラインに接続します。

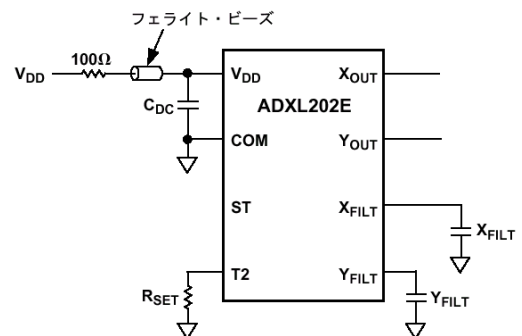


図2. 電源のデカップリング

## ADXL202E のデザイン手順

デューティ・サイクルを備えた ADXL202E を使用するデザイン手順には、デューティ・サイクル周期とフィルタ・キャパシタの選択が重要になります。以下で説明するように、帯域幅、信号分解能、アキュジション時間に対するアプリケーション側からの要件を考慮する必要があります。

### デカップリング・キャパシタ $C_{DC}$

電源デカップリング用に、VDD と COM の間に 0.1  $\mu$ F のキャパシタを接続することをお勧めします。

### ST

ST ピンは、セルフテスト機能をコントロールします。このピンを  $V_{DD}$  に接続すると、静電気が加速度センサーのビームに加わり、ビームが移動します。ビームの移動により出力が変化しますので、ユーザーが加速度センサーの機能をテストすることができます。デューティ・サイクル出力に、およそ 10% (800mg に対応) の変化 (Typ) がみられます。

センサーの通常使用時は、このピンを開放にするかコモンに接続しておきます。

### デューティ・サイクルのデコーディング

ADXL202E のデジタル出力は、一種のデューティ・サイクル変調器です。加速度は、 $T_1/T_2$  に比例します。ADXL202E の公称出力は、次のようになっています。

$$0g = 50\% \text{ デューティ・サイクル}$$

スケール・ファクタは、1g 当たり 12.5% のデューティ・サイクル変化になっています。

これらの公称値は、ゼロ g オフセット誤差や感度誤差などのデバイスの初期許容偏差からの影響を受けます。

$T_2$  は、すべての計測サイクルで計測する必要はありません。温度に起因する変化 (比較的低速な変化) を考慮する場合にのみ、更新する必要があります。 $T_2$  の周期は、X チャンネルと Y チャンネルの間で共通であるため、ADXL202E のどちらか 1 チャンネルだけを計測することで済みます。様々なマイクロコントローラに利用できるデコーディング・アルゴリズムが、用意されています。該当するアプリケーション・ノートを参照してください。

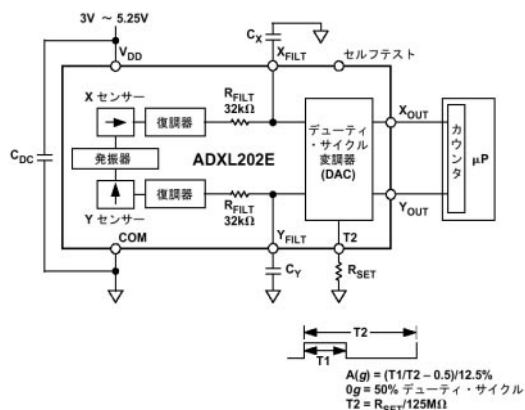


図3 ブロック図

### $C_X$ と $C_Y$ による帯域幅の設定

ADXL202E では、 $X_{FILT}$  ピンと  $Y_{FILT}$  ピンの帯域制限を行うことができます。これらのピンに、キャパシタを接続して、アンチエイリアシングとノイズ除去用のローパス・フィルタを構成する必要があります。3dB 帯域幅は次式の通りです。

$$F_{-3dB} = \frac{1}{2\pi(32k\Omega) \times C_{(X,Y)}}$$

簡略化すると、

$$F_{-3dB} = \frac{1}{C_{(X,Y)}}$$

内部抵抗 ( $R_{FILT}$ ) の許容誤差は、公称値 32k $\Omega$  に対して  $\pm 15\%$  のばらつきがあります。したがって、帯域幅もこれに応じて変化します。 $C_{(X,Y)}$  に対しては、最小で 1000pF の容量を必要とします。

表 I. フィルタキャパシタ ( $C_X$  と  $C_Y$ ) の選択

| 帯域幅   | キャパシタ値        |
|-------|---------------|
| 10Hz  | 0.47 $\mu$ F  |
| 50Hz  | 0.10 $\mu$ F  |
| 100Hz | 0.05 $\mu$ F  |
| 200Hz | 0.027 $\mu$ F |
| 500Hz | 0.01 $\mu$ F  |
| 5kHz  | 0.001 $\mu$ F |

### $R_{SET}$ による DCM 周期の設定

両チャンネルの DCM 出力の周期は、 $R_{SET}$  とグラウンドの間に接続する 1 本の抵抗で設定します。周期は、次式で表されます。

$$T_2 = \frac{R_{SET}(\Omega)}{125MHz}$$

125k $\Omega$  の抵抗で、デューティ・サイクルの繰り返しレートを約 1kHz (1ms) に設定されます。このデバイスは、0.5ms ~ 10ms のデューティ・サイクル周期で動作するようにデザインされています。

表 II.  $T_2$  設定用抵抗値

| $T_2$ | $R_{SET}$      |
|-------|----------------|
| 1ms   | 125k $\Omega$  |
| 2ms   | 250k $\Omega$  |
| 5ms   | 625k $\Omega$  |
| 10ms  | 1.25M $\Omega$ |

アナログ出力のみ使用する場合でも、必ず  $R_{SET}$  を接続する必要があります。ことにご注意ください。 $X_{FILT}$  または  $Y_{FILT}$  から出力を得る場合は、500k $\Omega$  ~ 2M $\Omega$  の  $R_{SET}$  値をご利用ください。 $R_{SET}$  は、 $T_2$  ピンの近くに設置し、このノードの寄生容量を小さくしてください。

### 正しい加速度センサーの選択

大部分の低頻度計測アプリケーションに対しては、ADXL202E が最適な加速度センサーです。感度が高い (12.5%/g) のので、低速のカウンタを使って PWM デコーディングを行っても、高い分解能を維持することができます。 $\pm 2g$  より大きい加速度が予想されるアプリケーションでは、ADXL210 をご利用ください。

# ADXL202E

## マイクロコンピュータとのインターフェース

ADXL202E は、特にマイクロコントローラと組み合わせて使用するようデザインされています。アナログ・デバイスでは、コード・セット、リファレンスデザイン、アプリケーション・ノートをご用意しております。ここでは、一般的なデザイン手順の概要と考慮すべき種々のトレード・オフについて説明します。

設計者は、システムを設計する上で次の点について、考えておく必要があります。

分解能：検出が必要な最小信号変化

帯域幅：検出が必要な最大周波数

アキュジション時間：各軸の信号が出力されるまでの時間

これらの条件は、加速度センサーの帯域幅、マイクロ・コントローラのクロック・スピード、T2 周期の長さなどの決定に役立ちます。

マイクロ・コントローラの選択では、カウンタ/タイマ・ポートを持つマイクロ・コントローラが有効です。また、ソフトウェア・キャリブレーションを行う必要があります。ADXL202E は、高精度な加速度センサーですが、初期オフセットに許容誤差があります。

このオフセットは、マイクロ・コントローラに格納したキャリブレーション係数を使うか、ユーザーによるゼロ g キャリブレーションを行うことによって簡単に相殺することができます。オフセットのキャリブレーションを製品出荷時に行う場合には、外付けの EEPROM や、“ワンタイム・プログラマブル”機能をもつマイクロ・コントローラの使用など、幾つかの選択肢があります。

## フィルタ特性の選択におけるデザイン上のトレードオフ：ノイズと帯域幅間のトレードオフ

加速度センサーの帯域幅の選択により、計測分解能（検出可能な最小加速度）が決定されます。フィルタを使用してノイズ・フロアを下げることで、加速度センサーの分解能を上げることができます。分解能は、 $X_{FILT}$  と  $Y_{FILT}$  にあるアナログ・フィルタの帯域幅と、マイクロ・コントローラのカウンタスピードに依存します。

ADXL202E のアナログ出力は、5kHz (Typ) の帯域幅を持っており、デューティ・サイクル変調器の帯域幅が 500Hz です。ユーザーは、ここで信号をフィルタリングし、エイリアシング誤差を制限する必要があります。DCM 誤差を最小にするためには、アナログ帯域幅を DCM 周波数の 1/10 以下にする必要があります。多くのアプリケーションでは、アナログ帯域幅を DCM 周波数の 1/2 まで広げることができますが、これにより、DCM でのダイナミック・エラーが増加してしまいます。

アナログ帯域幅をさらに狭めると、ノイズが減少し、分解能を上げることができます。ADXL202E のノイズは、ホワイト・ガウシアン・ノイズ特性を示すため、全周波数帯域に均等な成分を持っており、 $\mu g/\sqrt{Hz}$  の単位で表されます。すなわち、ノイズは、加速度センサーの帯域幅の平方根に比例します。アプリケーションで必要とされる最小の周波数に帯域幅を制限し、センサーの分解能とダイナミック・レンジを最大にすることをお奨めします。

1 極のローパス特性を使用すると、ADXL202E のノイズ (Typ) は、次式で与えられます。

$$\text{ノイズ (rms)} = (200 \mu g / \sqrt{Hz}) \times (\sqrt{\text{帯域幅} \times 1.6})$$

帯域幅が 100Hz の場合のノイズは、次のようになります。

$$\text{ノイズ (RMS)} = (200 \mu g / \sqrt{Hz}) \times (\sqrt{100 \times 1.6}) = 2.53 \text{ mg}$$

ノイズのピーク値が必要な場合がしばしばあります。ノイズのピーク・トゥ・ピーク値は、統計的な方法でのみ評価が可能です。表 III は、rms 値を基準としたあるピーク値を超えるノイズが発生する確率を推定するときに使うことができます。

表 III ピーク・トゥ・ピーク・ノイズの推定

| 公称ピーク・トゥ・ピーク値 | ノイズが公称ピーク・トゥ・ピーク値を超える時間の% |
|---------------|---------------------------|
| 2.0 × rms     | 32%                       |
| 4.0 × rms     | 4.6%                      |
| 6.0 × rms     | 0.27%                     |
| 8.0 × rms     | 0.006%                    |

この場合、ノイズのピーク・トゥ・ピーク値は、1 回の計測における不確定性に対して最も近い推定値を示します。

表 IV に、 $C_x$  と  $C_y$  の種々の値に対する ADXL202E のノイズ出力 (Typ) を示します。

表 IV フィルタ・キャパシタの選択 ( $C_x$  と  $C_y$ )

| 帯域幅    | $C_x$ , $C_y$ | rms ノイズ | 95% 確率のピーク・トゥ・ピーク・ノイズ推定値 (rms × 4) |
|--------|---------------|---------|------------------------------------|
| 10 Hz  | 0.47 $\mu F$  | 0.8 mg  | 3.2 mg                             |
| 50 Hz  | 0.10 $\mu F$  | 1.8 mg  | 7.2 mg                             |
| 100 Hz | 0.05 $\mu F$  | 2.5 mg  | 10.0 mg                            |
| 200 Hz | 0.027 $\mu F$ | 3.6 mg  | 14.4 mg                            |
| 500 Hz | 0.01 $\mu F$  | 5.7 mg  | 22.8 mg                            |

## T2 とカウンタ周波数の選択：デザイン・トレードオフ

前述のように、加速度センサーの分解能を決定する第一の要因は、ノイズ・レベルになります。第二番目の要因には、デューティ・サイクル出力をデコードする際のカウンタの測定分解能が関係します。

ADXL202E のデューティ・サイクル・コンバータは、およそ 14 ビットの分解能を持っており、加速度センサー自身より優れた分解能になっています。ただし、加速度信号の実際の分解能は、デューティ・サイクルのデコードに使うカウンタ・デバイスの時間分解能により制限されます。カウンタ・クロックが高速であるほど、デューティ・サイクルの分解能が高くなり、与えられた分解能に対する T2 周期を短くすることができます。次の表に、幾つかのトレードオフを示します。これは、マイクロ・コントローラのカウンタに基づく分解能であることにご注意ください。前述のように、加速度センサーのノイズ・フロアが分解能の下限を決めてしまうことがあります。

表 V マイクロ・コントローラのカウンタ・レート、T2 周期、デューティ・サイクル変調器の分解能の間のトレードオフ

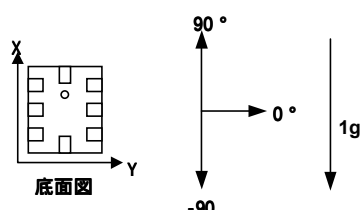
| T2 (ms) | RSET (k $\Omega$ ) | ADXL202E のサンプル・レート | カウンタ・クロック・レート (MHz) | T2 サイクル当たりのカウンタ数 | 1g 当たりのカウンタ数 | 分解能 (mg) |
|---------|--------------------|--------------------|---------------------|------------------|--------------|----------|
| 1.0     | 124                | 1000               | 2.0                 | 2000             | 250          | 4.0      |
| 1.0     | 124                | 1000               | 1.0                 | 1000             | 125          | 8.0      |
| 1.0     | 124                | 1000               | 0.5                 | 500              | 62.5         | 16.0     |
| 5.0     | 625                | 200                | 2.0                 | 10000            | 1250         | 0.8      |
| 5.0     | 625                | 200                | 1.0                 | 5000             | 625          | 1.6      |
| 5.0     | 625                | 200                | 0.5                 | 2500             | 312.5        | 3.2      |
| 10.0    | 1250               | 100                | 2.0                 | 20000            | 2500         | 0.4      |
| 10.0    | 1250               | 100                | 1.0                 | 10000            | 1250         | 0.8      |
| 10.0    | 1250               | 100                | 0.5                 | 5000             | 625          | 1.6      |

## デューティ・サイクル出力をマイクロ・コントローラと組み合わせて使用する方法

アナログ・デバイスでは、デューティ・サイクル出力の低価格なマイクロ・コントローラを組み合わせ使用して使用する種々の方法について説明したアプリケーション・ノートを提供しています。

## ADXL202E を 2 軸傾斜センサーとして使用する方法

ADXL202E が、最も広く採用されているアプリケーションの 1 つは、傾斜計測です。加速度センサーは、重力を入力ベクタとして使い、空間内の物体の傾斜を決定します。加速度センサーの検出軸が重力に垂直な場合、すなわち地表に平行な場合に、加速度センサーは傾斜に対して最も敏感になります。この方向で、傾斜の変化に対する感度が最高になります。加速度センサーの検出軸が重力の方向に一致する場合、すなわち+1g または-1g に近い値を出力する場合、傾斜角に対する出力加速度の変化は、非常に小さくなります。加速度センサーの検出軸が重力に垂直な場合は、傾斜角当たり約 17.5mg で出力が変化しますが、45° 付近では、傾斜角当たり 12.2mg しか変化せず、分解能が低下します。次の表に、デバイスを重力に対して、±90° まで傾けたときの X 軸と Y 軸での変化を示します。



| 水平に対する<br>X 軸の方向<br>(°) | X 出力    |                       | Y 出力    |                       |
|-------------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|
|                         | X 出力(g) | 傾斜角当<br>たりの変化<br>(mg) | Y 出力(g) | 傾斜角当<br>たりの変化<br>(mg) |
| -90                     | -1.000  | -0.2                  | 0.000   | 17.5                  |
| -75                     | -0.966  | -4.4                  | 0.259   | 16.9                  |
| -60                     | -0.866  | -8.6                  | 0.500   | 15.2                  |
| -45                     | -0.707  | -12.2                 | 0.707   | 12.4                  |
| -30                     | -0.500  | -15.0                 | 0.866   | 8.9                   |
| -15                     | -0.259  | -16.8                 | 0.966   | 4.7                   |
| 0                       | 0.000   | 17.5                  | 1.000   | 0.2                   |
| 15                      | 0.259   | 16.9                  | 0.966   | -4.4                  |
| 30                      | 0.500   | 15.2                  | 0.866   | -8.6                  |
| 45                      | 0.707   | 12.4                  | 0.707   | -12.2                 |
| 60                      | 0.866   | 8.9                   | 0.500   | -15.0                 |
| 75                      | 0.966   | 4.7                   | 0.259   | -16.8                 |
| 90                      | 1.000   | 0.2                   | 0.000   | -17.5                 |

図4 弊社変化に対する X 軸と Y 軸の応答

## 2 軸傾斜センサー：加速度から傾きへの変換

X 軸と Y 軸がともに地表と平行になるように加速度センサーを配置すると、ロール軸とピッチ軸を持つ 2 軸傾斜センサーとして使用できます。加速度センサーの出力信号を-1g ~ +1g の間で変化する加速度に変換した後、度で表した出力傾斜は、次のように計算されます。

$$\text{ピッチ軸} = \text{ASIN}(Ax/1g)$$

$$\text{ロール軸} = \text{ASIN}(Ay/1g)$$

オーバーレンジについても考慮する必要があります。加速度センサーは、振動や衝撃、またはそれ以外の加速度により、±1g を超える信号を出力することがあります。

## 360° の傾斜計測

互いに垂直に配置した 2 つの加速度センサーを使うと、重力に対して 360° の方向を検出することができます(図 5)。一方のセンサーが角度あたりの出力で最大変化を出力しているとき、他方のセンサーは最小を出力します。

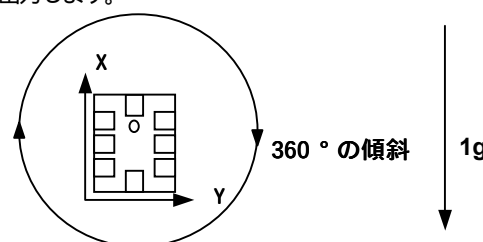


図5 2 軸加速度センサーを使用した 360° の傾斜計測

## アナログ出力の使用

ADXL202E は、デジタル出力を使用するようにデザインされていますが、アナログ出力も使用することができます。

## デューティ・サイクルのフィルタリング

デューティ・サイクル出力をフィルタリングすることにより、アナログ出力を生成することができます。この方法では、受動素子のみを使用します。デューティ・サイクル周期(T2)は1ms に設定しておきます。デューティ・サイクル周波数に満たない最低 1/10 の 3dB カットオフを持つ RC フィルタをデューティ・サイクル出力に接続します。フィルタ抵抗は、100kΩ 以上にして、出力ステージの負荷にならないようにします。アナログ出力信号は、電源電圧に比例します。この方法の利点は、出力スケールファクタがアナログ出力の約 2 倍になることです。また、欠点は、X<sub>FILT</sub> 出力と Y<sub>FILT</sub> 出力を使う場合に比べて、周波数応答が劣ることです。

## XFILT 出力と YFILT 出力の使用

2 つめの方法は、X<sub>FILT</sub> ピンと Y<sub>FILT</sub> ピンに出力されるアナログ出力を使う方法です。ただし、これらのピンは、32kΩ の出力インピーダンスを持っているため、負荷を直接ドライブできるデザインになっていません。このピンをバッファリングするために、オペアンプ・フォロアが必要になります。この方法の利点は、加速度センサーの 5kHz 帯域幅全体を利用できることです。この場合も、フィルタリング用に、このピンにキャパシタを接続する必要があります。デューティ・サイクル・コンバータは、R<sub>SET</sub> < 10MΩ を使って動作させておく必要があります。なお、加速度センサーのオフセットと感度が、電源電圧に比例することにご注意ください。公称オフセットと感度は次のようになります。

$$0g \text{ オフセット} = V_{DD} / 2$$

$$\text{ADXL202E 感度} = (60\text{mV} \times V_S) / g$$

# ADXL202E

## 超低消費電力アプリケーションでの ADXL202E の使用

ADXL202E の低消費電力駆動についてのアプリケーション・ノートがあります。ここでは、その中の幾つかのキーポイントについて説明します。以下の方法により、ADXL202E の平均電流を 0.6mA から 20  $\mu$ A 以下に減らすことができます。

1. 加速度センサーのパワー・サイクリング
2. 加速度センサーの低電圧駆動 (3V に下げる)

## 外付け A/D コンバータを使用するパワー・サイクリング

$X_{FILT}$  キャパシタの値に応じて、ADXL202E は 1.6ms 以内にターンオンして正しい値を出力することができます。マイクロ・コントローラ・ベースの A/D は、それ以外に 25  $\mu$ s 以内で値を取得することができます。したがって、ADXL202E をターンオンさせてから 2ms 以内に出力を取得することができます。例として、サンプル・レートが 20Hz で十分であると仮定すると、20 サンプル取得するために必要な全電流の平均は、 $2ms \times 20 \text{ サンプル/s} \times 0.6mA = 24 \mu A$  になります。さらに、デバイスを 3V で駆動すると、電源電流は 0.6mA から 0.4mA に減少し、平均電流は 16  $\mu$ A に減少します。

A/D コンバータは、ADXL202E の  $X_{FILT}$  ピンと  $Y_{FILT}$  ピンからアナログ出力を取得する必要があります。バッファ・アンプの使用を推奨します。8 ビット~10 ビットのコンバータ分解能にあわせて、アナログ出力を増幅する必要がある場合があります。

## デジタル出力を使用するパワー・サイクリング

別の方法として、デジタル出力を使用する方法があります。高速クロック・レートでマイクロ・コントローラを動作させておき、読み出しと読み出しの間はシャットダウンするようにデジタル出力を使用します。この方法では、ADXL202E を最高速のサンプル・レート ( $T_2=0.5ms$ ) に設定し、 $X_{FILT}$  と  $Y_{FILT}$  には 500Hz のフィルタを使用する必要があります。基本的な考え方は、可能な限り高速で読み出しを行った後に、次のサンプルが必要になるまで、ADXL202E とマイクロ・コントローラをシャットダウンさせておくことです。

上述のいずれの方法でも、マイクロ・コントローラのデジタル・ポート・ピンを使って ADXL202E をターンオン/ターンオフし、直接、加速度センサーに電源を与えることができ、外付け部品の追加が必要ありません。

## ADXL202E のキャリブレーション

傾斜計測などのアプリケーションでは、ADXL202E のオフセットとスケール・ファクタの初期値をキャリブレーションする必要があります。ADXL202E のアーキテクチャは、デューティ・サイクル信号をデコードするときに使うマイクロ・コントローラのソフトウェアで、これらのキャリブレーションを行えるように設計されています。キャリブレーション・ファクタは、EEPROM に格納しておくか、またはターンオン時に決定しダイナミック/メモリーに保存することができます。

低 g アプリケーションでは、重力が最も安定で正確な絶対加速度の基準として利用することができます。0g ポイント値は、デバイスを地表に平行に向けて読み取ることができます。

さらに正確なキャリブレーションの方法としては、+1g と -1g の値を計測します。感度は 2 つの計測値から決定することができます。

キャリブレーションを行うときは、加速度センサーの計測軸を直接地面に向けます。1g の計測値を記録し、次にセンサーを 180° 回転して -1g を計測します。この 2 つの計測値を A, B で表すと、感度は次のように計算できます。

$A = \text{軸を} +1g \text{ の方向に向けたときの加速度センサー出力}$

$B = \text{軸を} -1g \text{ の方向に向けたときの加速度センサー出力}$

$$\text{感度} = [A - B] / 2g$$

例えば、+1g の読み (A) が 55% のデューティ・サイクルで、-1g の読み (B) が 32% のデューティ・サイクルだった場合、

$$\text{感度} = [55\% - 32\%] / 2g = 11.5 \% / g$$

となります。

これらの式は、出力がアナログおよびデューティ・サイクルのいずれにも使用できます。

アナログ・デバイスでは、デューティ・サイクルから加速度を計算するアルゴリズム、自動キャリブレーション・ルーチンの概要を説明するアプリケーション・ノートを提供しています。

## 外形寸法

サイズは、インチと (mm) で示します。

### 8 ピンセラミック・リードレス・チップ・キャリア (E-8)

