

## Application Note

## 高電圧抵抗内蔵の絶縁型アンプおよび変調器で精度と性能を向上



Eva Mason

## 概要

このアプリケーション ノートでは、新しい AMC038x デバイス、すなわち、高電圧センシング用の抵抗分圧器を内蔵したガルバニック絶縁型アンプおよび変調器を紹介し、その利点と一般的な使用事例を説明します。

## 目次

1 はじめに.....	2
2 高電圧抵抗の絶縁型アンプおよび変調器の利点.....	2
2.1 省スペース.....	2
2.2 内蔵 HV 抵抗による温度および寿命ドリフトの向上.....	2
2.3 精度の結果.....	3
2.4 完全に内蔵された抵抗と追加外付け抵抗の例.....	5
2.5 デバイス選択ツリーおよび AC/DC の一般的な使用事例.....	7
3 まとめ.....	8
4 参考資料.....	8
5 改訂履歴.....	9

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 はじめに

高電圧の車載用および産業用の設計が進化するにつれて、高精度、安全性、電力効率に優れたガルバニック絶縁型電圧センシングの設計に対するニーズが高まっています。AMC038x 製品ファミリーは、高精度、高集積で、このような要件を満たす優れた機能を備えた絶縁型アンプおよび変調器のグループです。高電圧 (HV) 抵抗を内蔵しているため、外付けの抵抗分圧器を使用する従来の設計と比べて、設計サイズを大幅に縮小できます。外付けの高電圧抵抗分圧器で 1V または 2V レベルに降圧するためには、サイズが大きくなり、またコストがかかる可能性があります。さらに、内蔵抵抗であれば、ディスクリート抵抗と比較して、温度ドリフトと寿命ドリフトが非常に低くなります。これにより、AMC038x 製品は、キャリブレーションなしで、温度範囲全体および寿命全体にわたって 1% 未満の精度を達成できます。

## 2 高電圧抵抗の絶縁型アンプおよび変調器の利点

AMC038x 製品ファミリーは、外付け分圧抵抗による標準的な 2V 入力の電圧センシング デバイスに比べて、精度の向上や基板面積の削減など、多くの利点を備えています。

### 2.1 省スペース

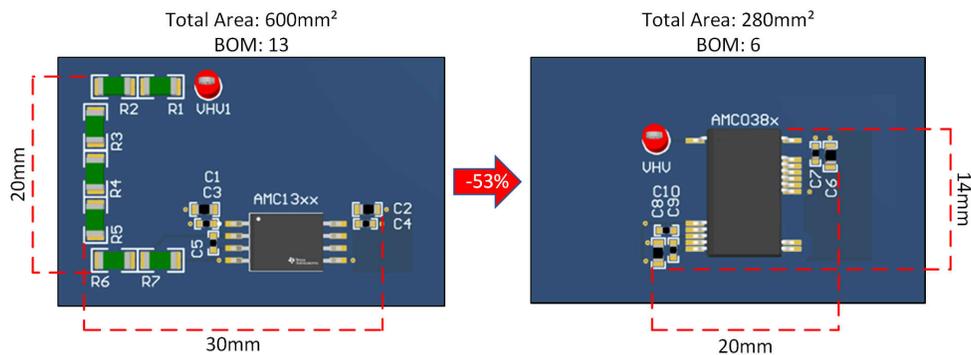


図 2-1. 基板面積の低減

従来のディスクリート高電圧抵抗は、PCB 上のスペースのかかなりの部分を占有することがあります。通常、単一の抵抗での電圧降下は、メーカーによる制限があります。また、基板レベルでの信頼性に関する懸念があるので、フットプリントの小さい抵抗を使用することを好むお客様もいます。したがって、電圧を低下させると同時にシステムの絶縁定格を維持するためには、システムは 15 個という多数の HV 抵抗を必要とします。一方、AMC038x 製品ファミリーは、HV 抵抗をデバイスに内蔵しているため、よりシンプルで小型の設計になります。これにより、HV 入力から最も近いピンまでの沿面距離および空間距離は 8mm となります。図 2-1 に示すように、これは設計サイズを 50% 以上小型化し、部品点数を大幅に低減します。

### 2.2 内蔵 HV 抵抗による温度および寿命ドリフトの向上

HV 抵抗分圧器の内蔵によって、省スペースという利点に加えて、精度も向上します。従来の外付け抵抗を使用する設計では、温度ドリフトと寿命ドリフトがより大きくなっていました。外付け抵抗の廃止により、総合誤差の大部分をなくすることができました。具体的には、複数の外付け抵抗の温度ドリフトが異なる方向へ進み、時間の経過とともに悪化する可能性があります。通常、外付け分圧抵抗では分圧器の上側に HV 抵抗、分圧器の下側に低電圧 (LV) 抵抗を使用します。これらの LV 抵抗は、多くの場合、異なるタイプ、構造、または材料です。内蔵の抵抗分圧器は、上側と下側の両方の抵抗に同じ材質を使用しているため、温度係数は極めて低くなります。抵抗分圧器の残りの誤差は、製造時にキャリブレーションされ、抵抗分圧器の誤差は事実上完全になくなります。次の例について考えます。

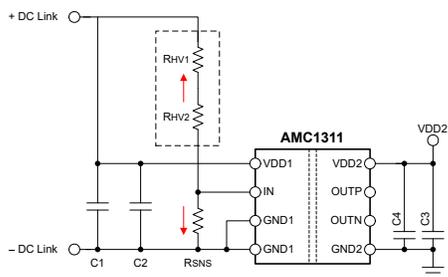


図 2-2. 外付け抵抗設計

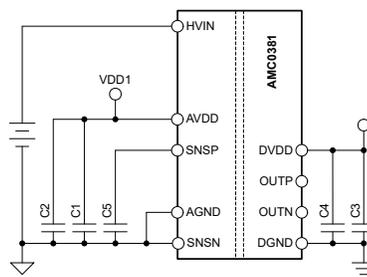


図 2-3. 内蔵抵抗設計

外付け抵抗のワースト ケースドリフト誤差:

$$50\text{ppm}/^\circ\text{C}(R_{HV1}/R_{HV2}) - (-50\text{ppm}/^\circ\text{C})(R_{SNS}) + 40\text{ppm}/^\circ\text{C}(\text{AMC1311 Gain Error Drift}) = 140\text{ppm}/^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$\text{Drift Error over Temperature } \% = 140\text{ppm}/^\circ\text{C} \times 100^\circ\text{C} = 1.4\% \quad (2)$$

内蔵抵抗のワースト ケースドリフト誤差:

$$40\text{ppm}/^\circ\text{C}(\text{AMC0381 Gain Error Drift}) \quad (3)$$

$$\text{Drift Error over Temperature } \% = 40\text{ppm}/^\circ\text{C} \times 100^\circ\text{C} = 0.4\% \quad (4)$$

外付け抵抗の場合、それらが逆方向にシフトする可能性があるので、その誤差が信号チェーン全体の誤差の 2/3 を上回る量になり、誤差は 1% 増加します。したがって、HV 抵抗内蔵製品とは異なり、外付け抵抗による設計で、温度範囲全体および寿命全体にわたって 1% 未満の精度を達成するのは難しくなります。

## 2.3 精度の結果

ERROR VOUT (%) vs. VIN (V)

● -40°C ● 25°C ● 125°C

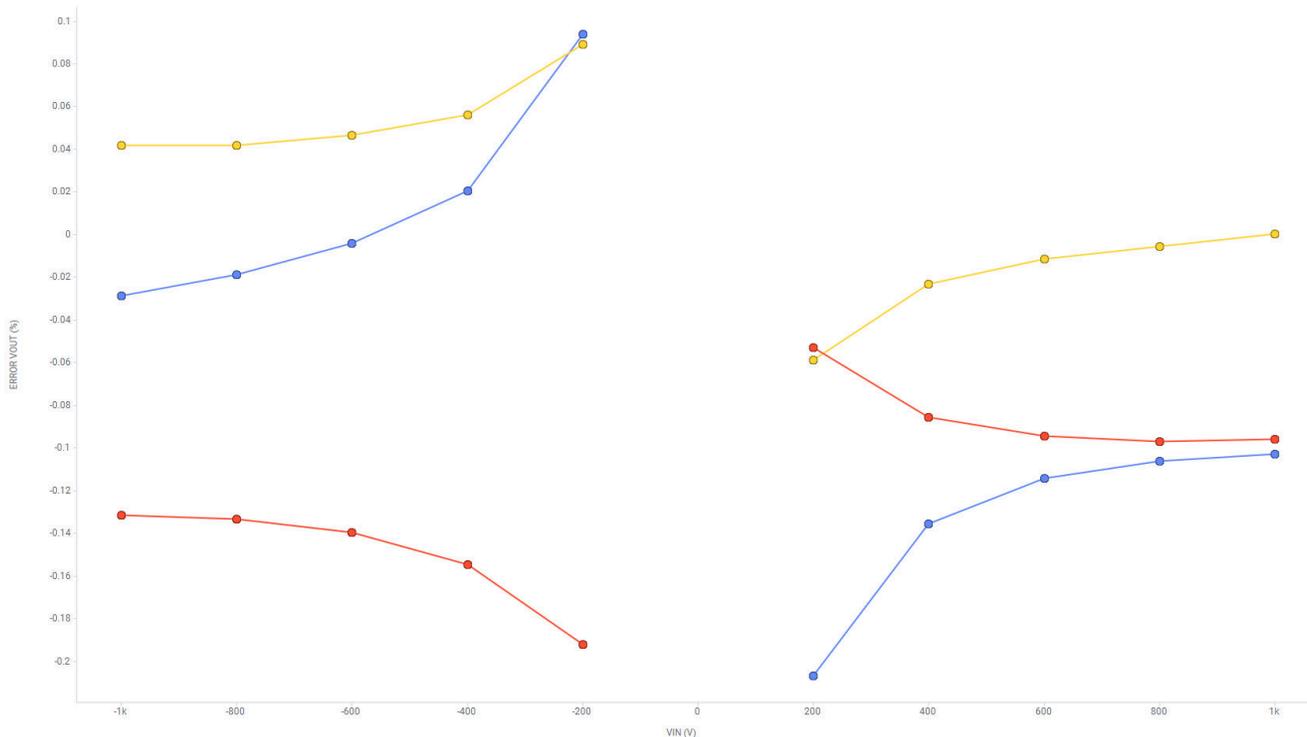
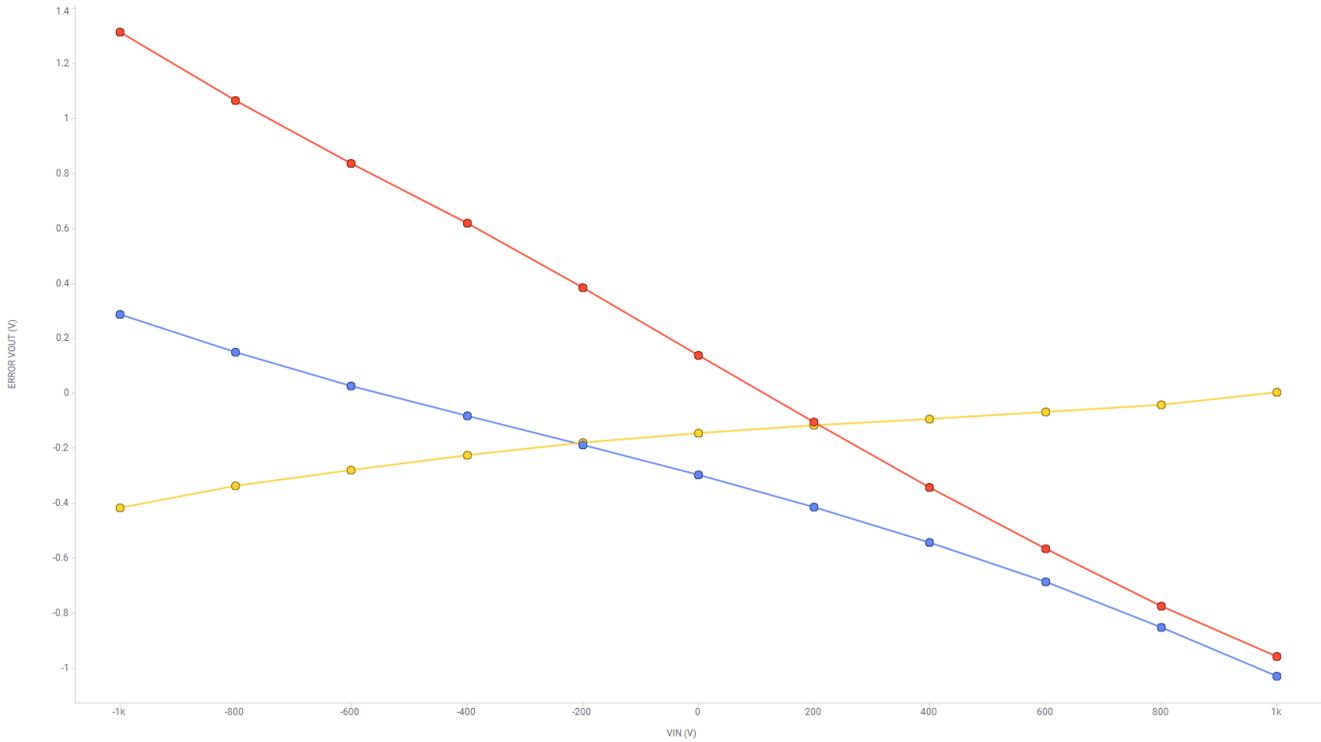


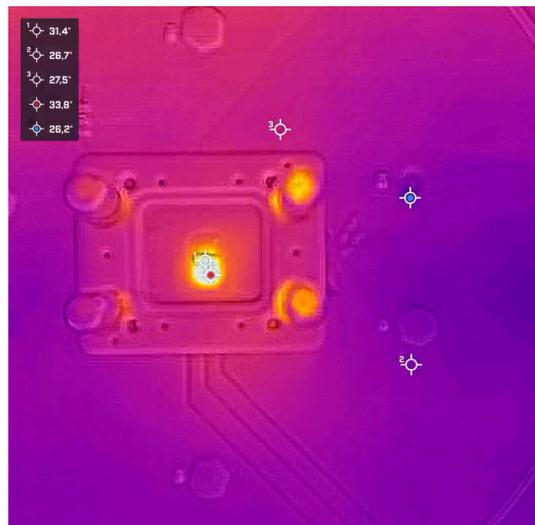
図 2-4. 総合出力換算誤差のパーセンテージと入力電圧との関係

ERROR VOUT (V) vs. VIN (V)

● -40°C ● 25°C ● 125°C


**図 2-5. 総合出力換算誤差電圧と入力電圧との関係**

説明のため、[図 2-4](#) および [図 2-5](#) に、温度範囲全体にわたる AMC038x デバイスの標準的な精度を示します。この図は、全温度範囲において、システムレベルのキャリブレーションなしで、AMC038x が 100V 以上で 0.4% より優れた精度を達成し、100V 未満の入力で 0.5V の絶対誤差を達成できることを示しています。キャリブレーション作業をなくすことにより、高精度電圧測定アプリケーションの実装で製造コストを削減できます。


**図 2-6. AMC038x の熱測定結果: 12.5mΩ**

さらに、AMC0381D10 の熱測定結果は、非常に高い電圧における、このデバイス ファミリの安定した性能を示しています。1000V におけるこのパッケージの  $\theta_{JA}$  熱抵抗は 107°C/W であり、8°C の温度上昇が予想され、ラボでの測定値とよく一致しています。これは許容値よりも優れており、周囲温度が高い場合でも安全な性能を確認できるものです。

## 2.4 完全に内蔵された抵抗と追加外付け抵抗の例

オンボードチャージャ (OBC) アプリケーションでは、温度範囲全体にわたる正確な電圧測定および性能が重要です。何年も使用した後でもバッテリーをフル充電するには、完全な充電状態を達成する必要があります。したがって、精度の向上および寿命ドリフトの低減は、これらのシステムの継続的な成功に直結しています。この原則は、他の **HEV**、**エネルギーインフラストラクチャ** および **モータードライブ** アプリケーションにも当てはまります。

一部のアプリケーションでは、内部分圧抵抗のゲインを手動で調整するために、外付け抵抗を付加することもできます。これは実現可能ではありますが、抵抗内蔵デバイスを使用する場合に事実上解決済みであった温度ドリフトおよびゲイン誤差が、再び導入されることに注意してください。内蔵抵抗では、HV および LV 抵抗のゲインドリフトが同じ方向に変化するようになり、温度範囲全体にわたって安定した状態を維持しているため、ドリフトは実質的に測定されません。外付け抵抗  $R_{EXT}$  を導入する場合、内蔵抵抗と  $R_{EXT}$  のゲインドリフトが、最悪の場合、逆方向にずれる可能性があり、システムに 2 次的な誤差が追加されることがあります。たとえば、1000V デバイスで 1200V を検出する場合、次のようなデモを考えてみましょう。

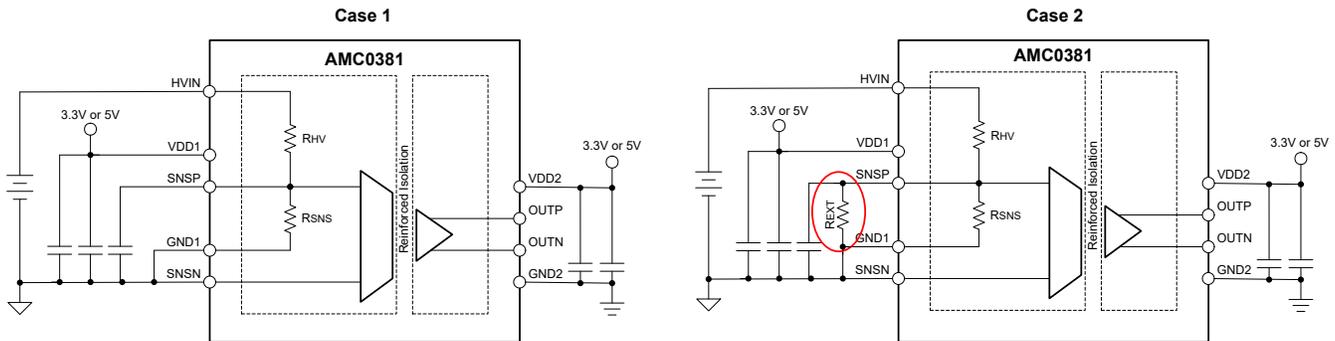


図 2-7. 異なる分圧抵抗でのゲイン誤差回路図

ケース 1: 1000V デバイスで 1000V の検出 (AMC0381R10):

1000V デバイスの場合:  $R_{HV} = 12.5M\Omega$ ,  $R_{SNS} = 12.5k\Omega$

内蔵抵抗の公差は  $\pm 20\%$  です。HV 抵抗および LV 抵抗、 $R_{HV}$  および  $R_{SNS}$  は、どちらも同じ方向にドリフトします。

**SNSP** ピンでの公称分圧抵抗電圧:

$$V_{NOM} = V_{PEAK} \times \frac{R_{SNS}}{R_{HV} + R_{SNS}} \quad (5)$$

$$V_{NOM} = 1000V \times \frac{12.5k\Omega}{12.5M\Omega + 12.5k\Omega} = 0.999V \quad (6)$$

**SNSP** ピンでの最大分圧抵抗電圧:

$$V_{MAX} = V_{PEAK} \times \frac{R_{SNS} + 20\%}{R_{HV} + 20\% + R_{SNS} + 20\%} \quad (7)$$

$$V_{MAX} = 1000V \times \frac{15.0k\Omega}{15.0M\Omega + 15.0k\Omega} = 0.999V \quad (8)$$

ゲイン誤差出力換算:

$$V_{GAIN ERROR OUTPUT} = (V_{MAX} - V_{NOM}) \times V_{OUTPUT} \quad (9)$$

$$V_{GAIN ERROR OUTPUT} = (0.999V - 0.999V) \times 2V = 0V \quad (10)$$

$$Gain Error \% = \frac{V_{MAX} - V_{NOM}}{V_{NOM}} \times 100 \quad (11)$$

$$Gain Error \% = \frac{0.999V - 0.999V}{0.999V} \times 100 = 0\% \quad (12)$$

フルスケール入力範囲を最大化しないと、オフセット誤差がフルスケール誤差に大きく影響する可能性があります。詳細については、『[絶縁型電圧センシング カリキュレータ](#)』を参照してください。

### ケース 2: 1000V デバイスを使用して 1200V の検出 (AMC0381R10):

1000V デバイスの場合:  $R_{HV} = 12.5M\Omega$ 、 $R_{SNS} = 12.5k\Omega$

この設計には、SNSP と AGND との間に外付け抵抗  $R_{EXT}$  が必要です。これはシステムに二次的な誤差を発生させる可能性があるため、推奨されません。デバイスの絶対最大定格を超えないようにする必要があります。

$$\frac{R_{EXT} \parallel 12.5k\Omega}{12.5M\Omega + R_{EXT} \parallel 12.5k\Omega} = \frac{1}{1200} \quad (13)$$

$$R_{EXT} = 62.8k\Omega \quad (14)$$

内蔵抵抗の公差は  $\pm 20\%$ 、外付け抵抗の公差は  $0.1\%$  です。ワーストケースシナリオでは、 $R_{EXT}$  は、 $R_{HV}$  および  $R_{SNS}$  とは逆方向にドリフトする可能性があります。

### 外付け抵抗使用時の SNSP ピンでの公称分圧抵抗電圧:

$$V_{NOM} = V_{PEAK} \times \frac{R_{SNS} \parallel R_{EXT}}{R_{HV} + R_{SNS} \parallel R_{EXT}} \quad (15)$$

$$R_{SNS} \parallel R_{EXT} = \frac{12.5k\Omega \times 62.8k\Omega}{12.5k\Omega + 62.8k\Omega} = 10.4k\Omega \quad (16)$$

$$V_{NOM} = 1200V \times \frac{10.4k\Omega}{12.5M\Omega + 10.4k\Omega} = 1.00V \quad (17)$$

### 外付け抵抗使用時の SNSP ピンでの最大分圧抵抗電圧:

$$V_{MAX} = V_{PEAK} \times \frac{R_{SNS} - 20\% \parallel R_{EXT} + 0.1\%}{R_{HV} - 20\% + R_{SNS} - 20\% \parallel R_{EXT} + 0.1\%} \quad (18)$$

$$R_{SNS} - 20\% \parallel R_{EXT} + 0.1\% = \frac{10.0k\Omega \times 62.9k\Omega}{10.0k\Omega + 62.9k\Omega} = 8.63k\Omega \quad (19)$$

$$V_{MAX} = 1200V \times \frac{8.63k\Omega}{10.0M\Omega + 8.63k\Omega} = 1.03V \quad (20)$$

### ゲイン誤差出力換算:

$$V_{GAIN ERROR OUTPUT} = (1.03V - 1.00V) \times 2V = 0.069V \quad (21)$$

$$Gain Error \% = \frac{1.03V - 1.00V}{1.00V} \times 100 = 3.44\% \quad (22)$$

内蔵抵抗デバイスをそのまま使用する場合、測定可能なゲインドリフトは発生しません。外付け抵抗を追加してこれらのデバイスのゲインを手動で調整すると、ワーストケースシナリオでのゲインドリフト誤差により、合計システム誤差が  $3.44\%$  増加する可能性があるため、これは推奨されません。

## 2.5 デバイス選択ツリーおよび AC/DC の一般的な使用事例

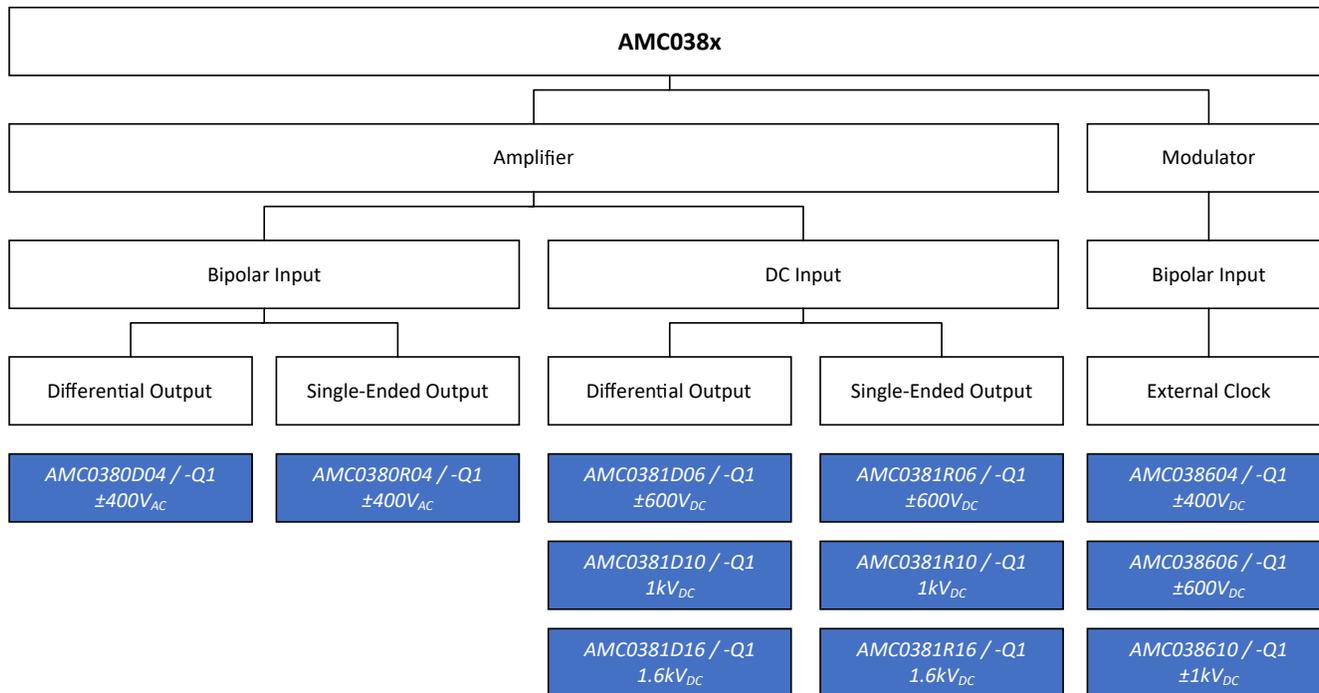


図 2-8. AMC038x 選択ツリー

表 2-1. AC 電圧センシングの使用事例

使用事例	公称電圧範囲	推奨分周比
相線と中性線での AC ライン電圧センシング	120V <sub>RMS</sub> (±10%) / 190V <sub>PK</sub>	400:1
	230V <sub>RMS</sub> (±10%) / 360V <sub>PK</sub>	400:1
相線間の AC ライン電圧センシング	400V <sub>RMS</sub> (±10%) / 620V <sub>PK</sub>	600:1
	690V <sub>RMS</sub> (±10%) / 1070V <sub>PK</sub>	1000:1

表 2-2. DC 電圧センシングの使用事例

使用事例	公称電圧範囲	推奨分周比
単相 120V <sub>AC</sub> から生成された DC リンク	最大 400V + 10%	400:1
単相 230V <sub>AC</sub> から生成された DC リンク	最大 600V + 10%	600:1
3 相 230/400V <sub>AC</sub> から生成された DC リンク	最大 1000V + 10%	1000:1
1500V+ スtring 電圧の ESS / ソーラー アプリケーション	最大 1600V + 10%	1600:1

AM038x デバイスには 4 つの固定比オプションがあり、4 種類の入力電圧範囲に対応できます。400V、600V、1000V、1600V。これらのデバイスには、3 種類の出カタイプ、すなわち、差動アナログ出力、シングル エンド アナログ出力、デジタル ビット ストリーム変調器出力も用意されています (図 2-8)。このデバイスは、バイポーラ入力オプションでの AC 電圧センシング (表 2-1) および DC 入力オプションでの DC 電圧センシング (表 2-2) に対応します。特定のアプリケーションの詳細については、『絶縁型電圧センシングによる電力変換およびモーター制御の効率の最大化』、マーケティング ホワイト ペーパーを参照してください。

### 3 まとめ

AMC038x 製品ファミリーは、小さいサイズ、高い精度で、統合が容易なため、各種のアプリケーションに適した設計が可能です。内蔵の高電圧抵抗により、業界をリードする 1% 未満の精度、PCB 設計サイズの 50% 小型化を実現しているほか、生産ライン最後でのキャリブレーションが不要になります。このような改善により、これらの絶縁型アンプおよび変調器は、HEV、エネルギー インフラ、モーター ドライブの各アプリケーションに最適な能力を備えています。

### 4 参考資料

- テキサス・インスツルメンツ、[『AMC038XEVM 評価基板』](#)
- テキサス・インスツルメンツ、[『絶縁型電圧センシングによる電力変換およびモータ制御の効率の最大化』](#)、マーケティング ホワイト ペーパー。
- テキサス・インスツルメンツ、[『高信頼性と低コストを両立させる絶縁技術により高電圧設計の様々な課題を解決 \(レビジョン C\)』](#)、マーケティング ホワイト ペーパー。
- テキサス・インスツルメンツ、[『AC モーター ドライブの絶縁電圧センシング』](#)、アナログ設計ジャーナル。
- テキサス・インスツルメンツ、[『SBAR013 絶縁型アンプ電圧センシング Excel カリキュレータ』](#)。

## 5 改訂履歴

### Changes from Revision \* (October 2024) to Revision A (December 2024)

Page

- ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新..... 1
- 「総合出力換算誤差のパーセンテージと入力電圧との関係」および「総合出力換算誤差電圧と入力電圧との関係」の画像を更新 ..... 3

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているテキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated