

Application Brief

HEV / EV アプリケーションにおける高電圧測定



Jose Maroto

EV、バッテリージャンクションボックス(BJB)、オンボードチャージャ(OBC)、DC/DC コンバータ、トラクションインバータ、高電圧パワーディストリビューションボックス(PDB)など、多くの各種 HEV/EV システムやサブシステムでは、高電圧を測定する必要があります。

車載市場、EV、特に HEV/EV (ハイブリッド車と電気自動車) アプリケーションで頻繁に起こる課題の 1 つは、できるだけ正確でコンパクトかつコスト効率の優れたシステムをいかに開発するかです。通常、ハードウェア設計者は暗黙のうちに、高い水準を維持しつつも部品サイズをコンパクトに抑えて、より少ないピン数のデバイスを選択することが求められます。これは、アナログコンポーネントだけでなく、TI の C2000™リアルタイムマイコンなどの処理素子にも適用されるため、こうした機器等にも影響が及びます。実際、選定した処理エレメントとそのシステム内の配置もシステム設計に影響を与えるため、ハードウェア設計者は絶縁箇所と使用する増幅エレメントの種類を検討し、決定しなければなりません。

図 1 に、EV C2000 デバイスに内蔵された ADC コンバータを使った HEV/EV の高電圧測定の代表的な回路を示します。

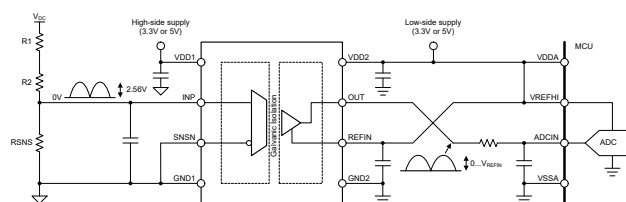


図 1. HV 測定回路の例

高電圧測定回路を設計するとき、まず考慮すべき要素は、抵抗分圧回路であることがほとんどです。その主な機能は、測定チェーン内で隣にあるコンポーネント、つまりアンプに適したレベルまでバス電圧を降圧することです。設計者は抵抗の動作電圧に応じて、複数の抵抗を直列に使用して、例に示すように抵抗ラダーを形成する必要があります。

抵抗

従来のディスクリートアプローチでは、通常、大型で高価な高電圧の厚膜抵抗、または標準的なケース抵抗を抵抗ストリングを長くして使用する必要があります。これらはより

コスト効率に優れたオプションですが、基板上に多くのスペースを必要とします。ただし、こうした抵抗には、多くの場合コストが高い、かさが高い(大型)、精度に誤差が生じるといったリスクなど、重大な欠点があります。

測定チェーンの最初のエレメントでは、信号が後で増幅されるので、この段階から誤差を最小限に抑えることが重要です。抵抗分圧回路が、測定チェーンの誤差全体の最大 3 分の 2 を占める場合があり、その主な原因は、許容誤差、温度ドリフト、抵抗のミスマッチ、経年変化によるものです。新しい RES60A-Q1 ファミリーは、こうした課題の克服に役立ちます。

RES60A-Q1 は、高電圧に適した抵抗分圧回路であり、HVIN ピンと LVIN ピン間で最大 1400V をサポートします。高精度、低ドリフト、幅広い公称比率(210:1、310:1、410:1、500:1、610:1、1000:1)は、電圧を正確に調整し、経年変化や温度変化に対応します。

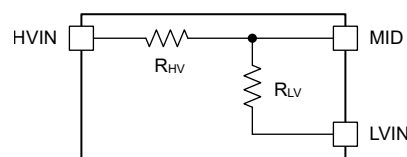


図 2. RES60A-Q1

RES60A-Q1 ファミリーのデバイスは、高電圧機能を備えており、設計者は高電圧バスに直接接続できます。公称比の異なる複数の RES60A-Q1 デバイスを使用することで高電圧バスを測定し、複数の低い電圧にスケールダウンするため、ディスクリートの分圧抵抗は不要です。

TI の RES60A-Q1 デバイスによってバス電圧をスケールダウンした後、信号をバッファリングして ADC を適切な方法で駆動する必要があります。なお、選択したトポロジーでは、ガルバニック絶縁が必要です。この場合、必要なバッファリングと絶縁を提供できるので、電圧検出アンプが適切なソリューションとなります。

アンプ

できるだけ正確な測定を行うため、ハードウェア設計者は、多数の要因について検討する必要があります。ゲイン誤差、オフセット誤差、温度ドリフト、非線形性、入力インピーダンスなど主要パラメータが重要であり、慎重に検討する必要があります。

このほかにも、設計者にとって重要なパラメータがあり、これらを検討することで大きなメリットが得られます。このような要因には、提供される絶縁の種類（基本絶縁または強化絶縁）、アンプの入力の種類（AC または DC）、出力構成（差動またはシングル エンド）、アンプが提供する統合レベルなどが含まれます。こうした要因を注意深く評価することで、設計者は設計を最適化し、特定のアプリケーションに最も適したアンプ選定をできます。

AMC0311D-Q1 は、高精度の絶縁型電圧アンプで、2V の入力、差動出力、最大 5KV_{RMS} (V_{ISO} , 60s) の強化絶縁など、優れた機能を備えています。さらに、固定ゲイン、 $1\text{G}\Omega$ を超える高い入力インピーダンス、きわめて小さな誤差という非常に優れた精度を実現しています: ゲイン誤差は $\pm 0.25\%$ 、オフセット誤差は $\pm 0.8\text{mV}$ 、ゲインドリフトは $\pm 50\text{ppm}$ 、オフセットドリフトは $\pm 10\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ （すべて最大値として規定）です。

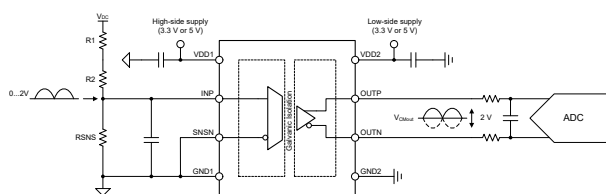


図 3. AMC0311D-Q1

処理素子にシングルエンド入力 ADC しかない場合や、十分な入力ピンがない場合、ハードウェア設計者は、差動出力信号をシングルエンド信号に変換するオペアンプ段を追加して、処理素子に対して 1 本のピンで測定を行うことが可能です。

OPA388-Q1 は、高帯域幅 (10MHz)、ゼロクロスオーバ、ゼロドリフト ($\pm 0.005 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) の高精度レール・ツー・レール入出力 (RRIO) アンプであり、この種の機能に強く推奨されます。

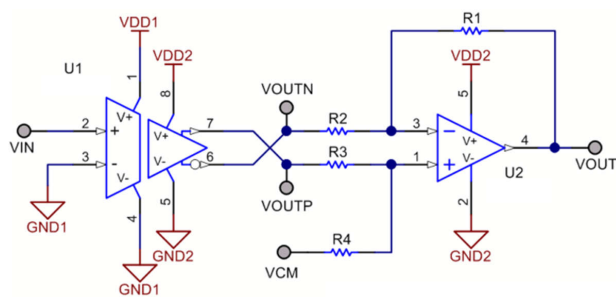


図 4. 差動からシングルエンドへの変換例

ただし、**AMC0311S-Q1** は現在、AMC0311D-Q1 と同様の利点として、 $\pm 0.25\%$ のゲイン誤差と $\pm 1\text{mV}$ のオフセット誤差に加え、 $\pm 50\text{ppm}$ のゲインドリフト、 $\pm 30 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ のオフセットドリフト（すべて最大値を指定した場合）などがありますが、シングルエンド出力構成を採用しているため、前述の 2 番目のアンプ段が不要となる利点があります。

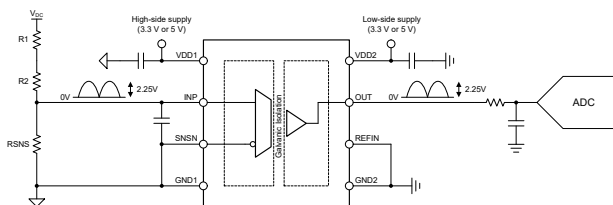


図 5. AMC0311S-Q1

より高精度で小型のシステムを設計することが重要ですが、この考え方が、事実上 EV HV/EV (ハイブリッド車と電気自動車) の分野でトレンドになっています。その結果、統合レベルを高めれば高めるほど、良い成果が挙げられます。

TI の最新の製品開発と、ポートフォリオへの新しいアンプの追加により、設計者はスペースの確保という最も厳しい制約を克服すれば、急を要する過酷なシステム統合を実現することができます。

AMC3330-Q1 は、 $4.25\text{KV}_{\text{RMS}}$ (V_{ISO} は 60 秒) 定格の $\pm 1\text{V}$ 入力、強化絶縁型アンプであり、差動出力を使用する高精度測定向けに設計されています。この製品は、高精度、ゲイン誤差 0.2% 、オフセット誤差 $\pm 0.3\text{mV}$ で、低ドリフトに加えて、 $\pm 45\text{ppm}/^\circ\text{C}$ のゲインドリフトと $\pm 4 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ のオフセットドリフトを実現しています（すべて最大値を指定した場合）。なお、このデバイスには内蔵の絶縁 DC/DC コンバータが搭載されており、ローサイドの 3.3V または 5V 電源を使用して単一電源で動作します。

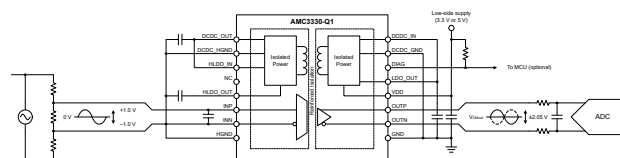


図 6. AMC3330-Q1

AMC3330-Q1 は、前述の **RES60A-Q1** に対応する抵抗デバイスと組み合わせることで、測定機能を正確に実行し、アプリケーションの 2 次側または低電圧ドメインに絶縁型 DC/DC 電源を供給します。

一方、**AMC0381D-Q1** は、高精度の高電圧 DC アンプであり、固定ゲイン、最大 5KV_{RMS} の強化ガルバニック絶縁 (60 秒の V_{ISO})、差動出力など、各種の機能を備えています。このデバイスは、高い入力インピーダンス、少ない誤差、ドリフトにより、高い精度をご提供します。具体的には、 $\pm 0.25\%$ の減衰と $\pm 1.5\text{mV}$ のオフセット誤差、 $\pm 40\text{ppm}$ の減衰と $\pm 20\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ のオフセットドリフト（すべて最大値を指定した場合）を実現できます。また、このデバイスには抵抗分圧回路が内蔵されており、 600V 、 1000V 、 1600V の入力範囲オプションにより、高電圧 DC 電源に直接接続できます。

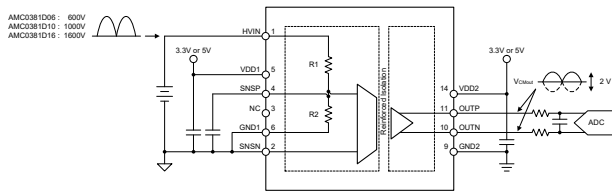


図 7. AMC0381D-Q1

図 1 は、A/D コンバータ(ADC)を内蔵した当社のポートフォリオから、C2000 デバイスを使用する代表的な電圧測定回路を示しています。ただし、このほかにもデルタシグマ変調器をベースとした有用なトポロジがあり、設計に高いノイズ耐性などの利点を追加することができます。このトピックについては、別のドキュメントで解説しています。

デジタルアイソレータ

TI の C2000 デバイスは EV、SPI との通信インターフェイスを搭載しており、HV/EV(ハイブリッド車と電気自動車)アプリケーションで最もよく使われています。電圧ドメインの異なる処理素子間で信号が信頼性の高い方法で伝送されているか検証するには、該当する通信バスを適切に絶縁することが不可欠です。

アイソレータは高電圧絶縁バリアを備えた電子デバイスで、絶縁バリアの一方の側がトランスミッタ(Tx)として機能し、もう一方の側がレシーバ(Rx)として機能することで信号を回復させてデジタルレベルに変換します。

ISO6741-Q1 は、コスト重視のアプリケーション向けに設計された高性能クワッドチャネル(3/1)デジタルアイソレータです。最大 5000V_{RMS} の絶縁定格が必要な SPI 通信バスの絶縁に適しています。

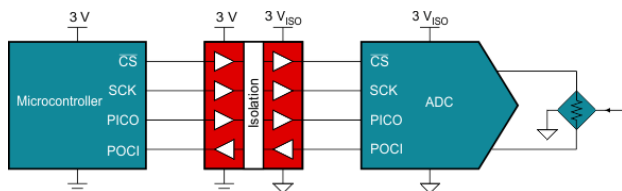


図 8. デジタルアイソレータを使用した SPI バス絶縁の例

異なる電源ドメインに配置された複数の C2000 デバイスが CAN バスを介して相互に通信している場合、設計者はバスも絶縁する必要があります。

ISO1042-Q1 は、CAN FD モード(5Mbps)をサポートし、5000V_{RMS} の電圧に耐えるガルバニック絶縁型 CAN トランシーバであり、±30V の同相範囲と ±70V の DC バス障害保護をご提供します。

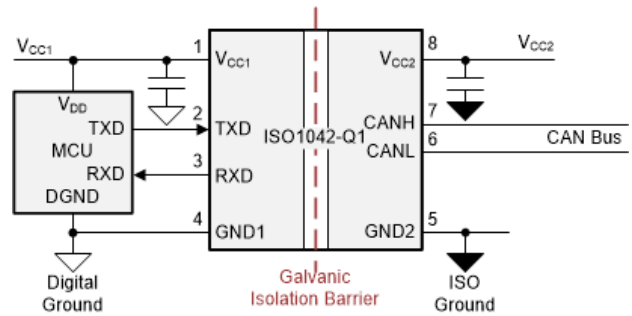


図 9. ISO1042-Q1

絶縁型電源

高電圧ドメイン内で測定を行う場合、通常、設計者は 2 次側にある残りの素子にバイアスを印加するために、絶縁型電源を用意する必要があります。TI の最新の製品ラインアップにはさまざまな利点のほか設計の柔軟性を向上させる高集積デバイスが加わり、これが従来型のフライバックコンバータに代わる最適な選択肢です。

UCC33421-Q1 は、トランス内蔵の新しい DC-DC パワーモジュールで、1.5W の出力電力を供給すると同時に、5KV RMS の絶縁定格を実現し、低 EMI をサポート。優れたロードレギュレーション(0.5%)を実現しています。このデバイスにより、必要な外付け部品点数を最小限に抑えることが可能。非常にコンパクトで電力密度の高いシステムソリューションを構築します。

内蔵モジュールのバイアス電源は、4.5V ~ 5.5V の入力電圧範囲を受け入れ、最大 5.5V まで選択可能なヘッドルームを備えた 5.0V の安定化出力を提供。これにより、設計者は絶縁型ポイント オブ ロード(POL)をシステムに容易に実装できます。

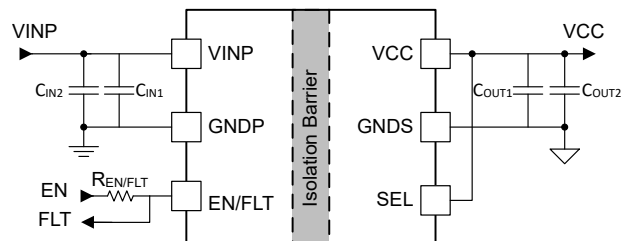


図 10. アプリケーション概略図

このファミリには、入出力電圧がより低い(3.3V)オプションや、UCC33420-Q1 などの 3kV_{RMS} 絶縁定格のバリエーションも揃っています。

商標

C2000™ is a trademark of Texas Instruments.
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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

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