

Design Guide: TIDA-010272

エネルギー ストレージシステム向け、1500V 高電圧ラック モニタ ユニットのリファレンス デザイン



概要

このリファレンス デザインは、電圧、電流、絶縁インピーダンスの精度が高い、リチウムイオン (Li-ion)、LiFePO4 バッテリ ラックです。このデザインは、バッテリーについて、4 つの高電圧バス入力、1 つのシャント電流および温度、1 つの絶縁インピーダンスを監視します。このデザインは、バッテリー ラックを保護して安全な動作を維持します。このデザインは、オンボードのシリアル パリフェラル インターフェイス (SPI) およびオフボードのデジジー チェーン通信インターフェイスを搭載しており、コスト効率の優れたスタックアップ接続と強化絶縁を実現できます。このリファレンス デザインは、これらの機能により、大容量バッテリー パック アプリケーションに適用可能になっています。

リソース

TIDA-010272	デザイン フォルダ
BQ79731-Q1, TPSI2140-Q1	プロダクト フォルダ
SN6507, ISO7841	プロダクト フォルダ
SN74LVC1G07-Q1, TPS7B69-Q1	プロダクト フォルダ
TSD05C, ESDS552	プロダクト フォルダ

特長

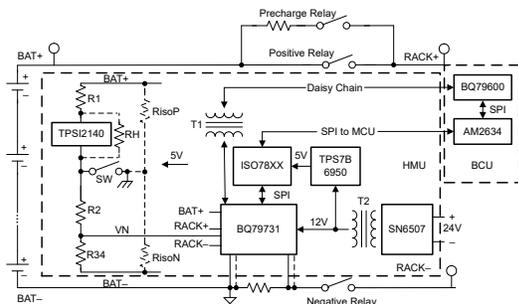
- 25°Cで $\pm 0.5\%$ のバス電圧精度
- 10A 未満の場合 25°Cで $\pm 10\text{mA}$ 、10A を超える場合 25°Cで $\pm 0.1\%$ の誤差のシャント電流
- シャント温度キャリブレーションをサポート
- 50k Ω ~10M Ω の場合 25°Cで $\pm 20\%$ の誤差、50k Ω 未満の場合 $\pm 10\text{k}\Omega$ の絶縁インピーダンス
- データリクッキング機能を備えリング アーキテクチャを採用した堅牢なデジジー チェーン通信
- ラック電流、電圧測定、保護に適した冗長診断機能

アプリケーション

- [ESS \(エネルギー ストレージシステム\) – バッテリー管理システム \(BMS\)](#)



テキサス・インスツルメンツの E2E™ サポート エキスパートにお問い合わせください。



1 システムの説明

バッテリー エネルギー ストレージ システム (BESS) は、バッテリー内の化学エネルギーの形で電気エネルギーを蓄積する技術です。この蓄えられたエネルギーは、必要に応じて、後で電力に変換して放出することができます。BESS は、電源システムの信頼性、安定性、効率を強化する上で重要な役割を果たしています。

BESS は、多くの場合、特定のアプリケーションのエネルギー ストレージ ニーズを満たすために、モジュール型でスケラブルな方法で配置された複数のバッテリー ラックで構成されています。BESS 内の各ラックには、エネルギーの蓄積、監視、制御を実現するバッテリー、バッテリー管理システム (BMS)、関連ハードウェア一式が含まれています。バッテリー ラックは、個々のバッテリーを収納する物理的な構造です。バッテリー ラックは、バッテリーを取り付けて、安定性および安全性を維持するための確実に整理されたフレームワークを提供します。BESS 内のバッテリー ラックの数は、必要な容量とエネルギー ストレージ システムの具体的な設計によって異なります。

BMS の高電圧 モニタ ユニット (HMU) 部は、バッテリー パックの高電圧側の安全管理および維持に重点を置いた重要なコンポーネントです。以下の事項は、高電圧 BMS の高電圧部分で一般的に見られる重要な要素です。

1. 電圧測定: BMS には、高電圧バッテリー パック内の個別のバッテリー セルまたはモジュールの電圧を測定する専用回路が含まれています。高精度の電圧監視は、バッテリー システムの健全性と安全を維持するために不可欠です。
2. 電流測定: 高電圧回路には電流センサが内蔵されており、バッテリー パックの充電電流と放電電流を測定できます。この情報は、充電状態の推定と過電流状態の防止に不可欠です。
3. 絶縁インピーダンス監視デバイス: 絶縁障害を検出および防止するために、高電圧部品の絶縁の完全性を監視する機器。
4. 通信インターフェイス: 高電圧 BMS は、コントローラ エリア ネットワーク (CAN) などのインターフェイスまたは他の通信プロトコルを使用して、車両の他の部分やエネルギー ストレージ システムと情報を交換できます。
5. 絶縁デバイス: 高電圧バッテリーと BMS 制御回路の他の部分との間で電氣的絶縁を実現するデバイス。この絶縁は、安全と電氣的干渉防止を実現するのに不可欠です。
6. 緊急遮断機能: 緊急遮断機能を実装することにより、重大な状況で高電圧バッテリー パックを迅速に切断することができます、システムおよび人員の安全を維持できます。

これらの部品は、全体として BMS の高電圧部分を形成し、電気自動車または大規模エネルギー ストレージ システムなどのアプリケーションで高電圧バッテリー パックの高精度監視、制御、保護を実現します。

このデザインは、住宅、商業、産業、グリッド BESS などに適用できる大容量バッテリー ラック アプリケーションの高電圧監視に重点を置いています。このデザインは、1 個の BQ79731-Q1 (バッテリー ジャンクション ボックス電圧モニタ、電流センサ、絶縁インピーダンス センサ) デバイスを使用して、4 つのバス電圧と 1 つのシャント電流を測定します。このデザインは、TPSI2140-Q1 デバイスおよびリードリレーを高電圧側接地の不平衡ブリッジで使用し、最大 1500V の BESS の高精度絶縁インピーダンスを計算します。このデザインは、SN6507 デバイスおよびトランスを使用して、低電圧側の 24V を高電圧側の 12V に変換します。

このデザインは、UL1973 または IEC60664-1-2020 の 1500V 強化絶縁要件を満たしています。強化絶縁の要件を考慮して、デジタル アイソレータ ISO7841DWWR、トランス、抵抗ラダーなど、本体幅の広い絶縁製品を使用します。

2 システム概要

2.1 ブロック図

図 2-1 に、高電圧 BMS のブロック図を示します。BMS は、以下に示す 3 つの個別のリファレンス デザインに分割されています。パック内のバッテリー モニタ ユニット (BMU) TIDA-010271、バッテリー制御ユニット (BCU) TIDA-010253、高電圧モニタ ユニット (HMU) TIDA-010272 です。

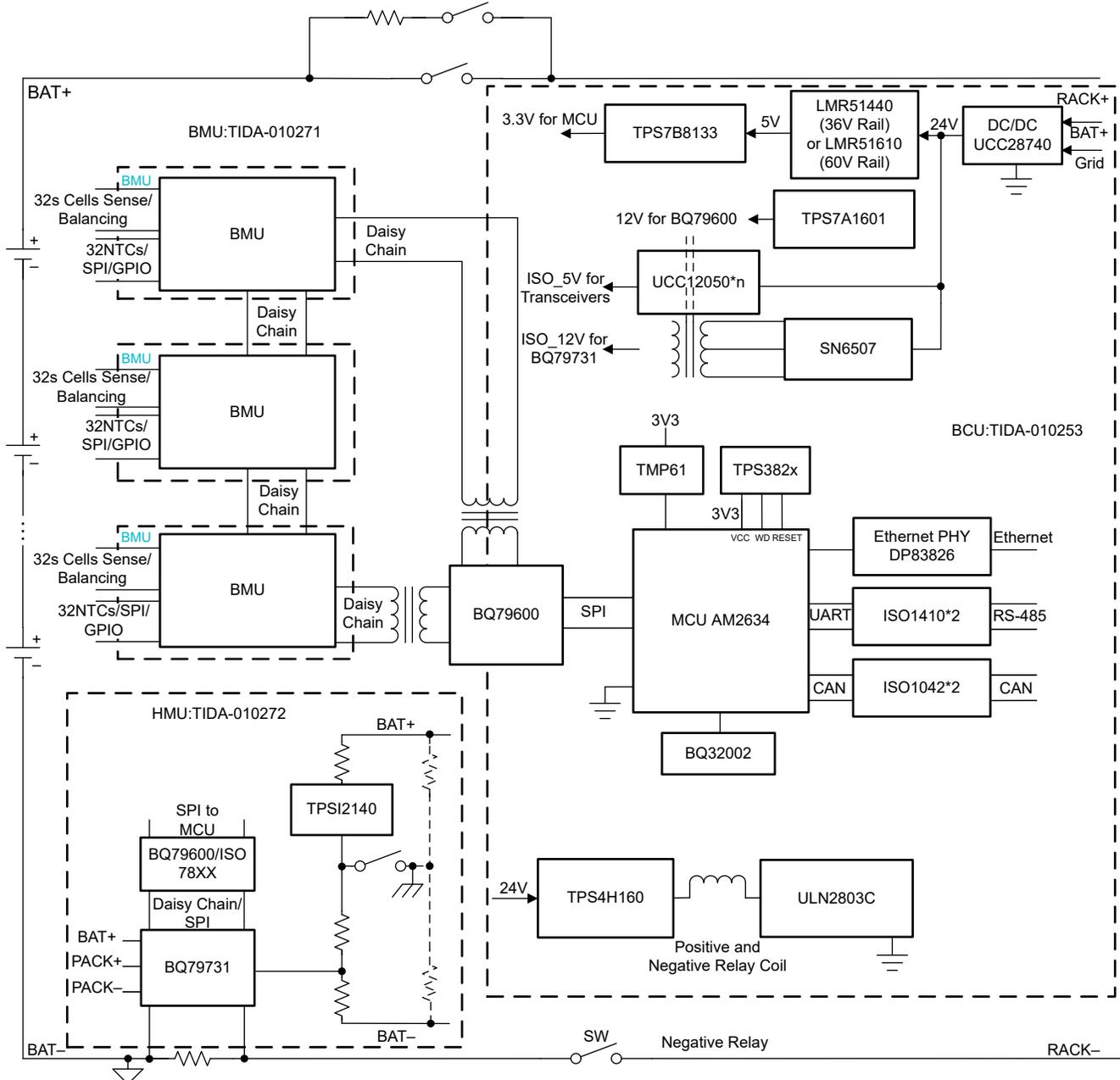


図 2-1. BMS のブロック図

TIDA-010272 ブロック図を図 2-2 に示します。BQ79731 は、4 チャネルの汎用入出力 (GPIO) および VF A/D コンバータ (ADC) 入力を使用して、BAT+、RACK+、RACK-、VN のテストポイントを測定します。VN は PE と BAT- の間の電圧です。抵抗ラダーは、1500V のバス電圧と ADC リファレンスの入力範囲に基づいて設計されています。

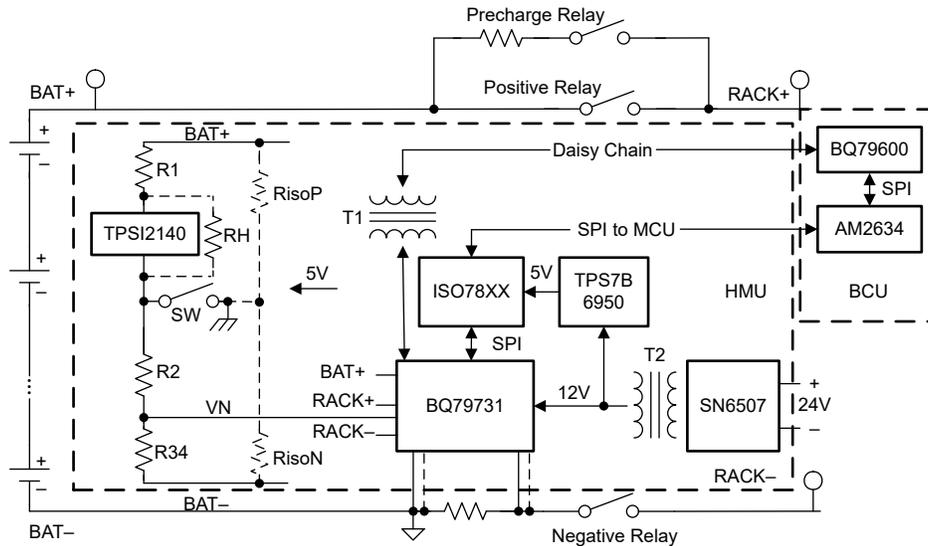


図 2-2. TIDA-010272 のブロック図

BQ79731 デバイスには 2 つの独立した電流センス ADC (CSADC) チャンネルがあり、シャント電流を測定できます。シャントはボードには実装されていないので、CSADC 入力に対して差動交差電圧を供給するために実際のシャントまたはシャントシミュレータが必要です。また、BQ79731 は 2 個のサーミスタ入力を備えており、シャントまたは CSADC のために温度シフトのキャリブレーションを実行できます。

BQ79731、TPSI2140、およびスイッチ (SW) を組み合わせることにより、非対称型の絶縁インピーダンス検出回路を形成します。ハイサイド TPSI2140 は、RH 抵抗の有無によって BAT+ と PE 間の抵抗を変更するために使用されます。これにより、RisoP、RisoN、VN、VBAT の関係式が 2 つ得られます。VBAT はラック電圧です。VN および VBAT は、TPSI2140 のスイッチング デューティ サイクルで測定できます。これにより、RisoP および RisoN の計算が可能になります。

2.2 設計上の考慮事項

2.2.1 バス電圧測定の精度

バス電圧測定は、高電圧 BMS で一般的な機能です。図 2-1 では、測定対象となる BAT+、RACK+、RACK- の 3 つのバス電圧があります。バス電圧は、充電状態 (SoC) の推定、プリチャージ、溶着検出、過電圧保護のプロセスで使用されます。GBT34131-2023 では 1% の精度が要求されるのに対して、このデザインの目標精度は 0.5% です。

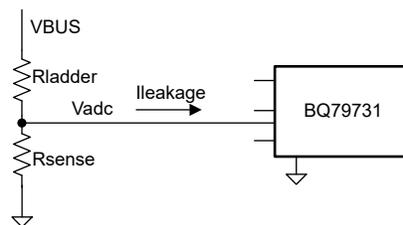


図 2-3. 高電圧測定回路

図 2-3 に、高電圧測定回路を示します。この測定回路には、Rladder (ラダー抵抗)、Rsense (検出抵抗)、ADC (BQ79731) が含まれています。Ileakage は BQ79731 の ADC 入力への差動リーク電流です。バス電圧測定の精度は、Rladder (Rladder%)、Rsense (Rsense%) の誤差率、Ileakage、ADC (Veadc) の誤差に影響されます。

BQ79731 で実際に測定されたバス電圧は $V_{bus_{mea}}$ であり、 $V_{bus_{mea}} = V_{bus} + V_{error}$ です。 V_{error} は、式 1 に示すように推定できます。

$$V_{error} \approx V_{bus} \times \left(\frac{R_{sense\%} - R_{ladder\%}}{1 + R_{ladder\%}} \right) + \frac{V_{eadc} \times (R_{ladder} + R_{sense})}{R_{sense}} + I_{leakage} \times (R_{ladder} + R_{sense}) \times (1 + R_{sense\%}) \quad (1)$$

一定誤差は、 V_{eadc} および $I_{leakage}$ に起因します。 V_{eadc} および $I_{leakage}$ が十分に小さい場合、これはあまり影響を及ぼしません。BQ79731 VF および GPIO の V_{eadc} は、40°C~125°Cにおいて最大 $\pm 3.16\text{mV}$ です。BQ79731 VF および GPIO の $I_{leakage}$ は、-40°C~105°Cにおいて最大 20nA です。1500V BESS を考慮すると、電圧ゲイン ≤ 400 、 $R_{ladder} + R_{sense} \leq 10\text{M}\Omega$ となります。そうすると、1500V ESS での一定誤差は、1.464V 未満となります。この一定誤差は、無視できるほど小さく、また、容易にキャリブレーションできます。比例誤差は、 $R_{sense\%}$ および $R_{ladder\%}$ に関係します。 $R_{sense\%}$ および $R_{ladder\%}$ が $\pm 1\%$ の範囲内であると仮定します。ワーストケースでは、比例誤差は $\pm 2\%$ の範囲です。比例誤差は、キャリブレーションすることもできます。キャリブレーションを行わない場合は、バス電圧測定で $\pm 0.4\%$ 精度を実現するために、 $\pm 0.2\%$ 精度の抵抗を使用する必要があります。

このデザインでは、 $R_{ladder\%}$ および $R_{sense\%}$ は $\pm 1\%$ 、 R_{ladder} は $6\text{M}\Omega$ 、 R_{sense} は $16.63\text{k}\Omega$ です。これは、基本絶縁および沿面距離の要件である 7.6mm と、4 つの 1206 パッケージ Bourns® 高電圧抵抗の使用を考慮しています。

2.2.2 シャント電流測定

シャント電流の精度は、バッテリーの SoC を計算するための重要なパラメータです。このデザインの見積シャント精度は、室温において、電流が 10A 以上のとき 0.1%、電流が 10A 未満のとき最大 10mA の誤差です。シャント抵抗は $150\mu\Omega$ で、電流の範囲は $\pm 500\text{A}$ です。電流が 10A 未満のとき、 $150\mu\Omega$ に対して最大 10mA の誤差を実現するには、シャント電圧が $1500\mu\text{V}$ 未満のときに CSADC の最大誤差が $1.5\mu\text{V}$ 未満とする必要があります。キャリブレーション後の CSADC のゲイン誤差は、0.1% 以下である必要があります。

シャント抵抗には温度ドリフトがあります。シャント抵抗の抵抗温度曲線を計算するために 3 つのテストポイントが必要であり、安定したシャント温度を得るためには数分かかります。一部のシャントメーカーでは、C&B Electronics の PCB8518A050Q2AC00 デバイスのように、各シャントについて抵抗温度曲線を提供可能です。抵抗温度曲線を使うと、 $R_{shunt}(T)$ (温度 T でのシャント抵抗) を推定できます。

ラック末端の生産ラインにおける室温でのシャント キャリブレーション プロセス:

1. 電流 = 0A で、CSADC データ V_{CSADC0} を読み取ります
2. 電流 = 10A 以上
 - CSADC データ V_{CSADC0} を読み取ります
 - 電流 $I_{CSADC10}$ を読み取り、 $I_{CSADC10}$ に $R_{shunt}(T)$ を乗算してシャント電圧を計算します
3. オフセットを計算します。オフセット = V_{CSADC0}
4. ゲインを計算します。ゲイン = $(I_{CSADC10} \times R_{shunt}(T) - \text{オフセット}) / (I_{CSADC10} \times R_{shunt}(T))$
5. オフセットおよびゲインを EEPROM およびフラッシュに書き込みます

2.2.3 絶縁インピーダンス監視

このデザインは、非対称ブリッジトポロジを使用して、絶縁インピーダンス (RisoP および RisoN) が $50\text{k}\Omega$ 以上のときは $\pm 20\%$ の精度、絶縁インピーダンスが $50\text{k}\Omega$ 未満のときは最大誤差 $10\text{k}\Omega$ を実現します。

SW は、PE と絶縁インピーダンス監視回路を接続するスイッチです。絶縁インピーダンス監視機能が開始されると、SW がオンになります。高精度の絶縁インピーダンスを実現するには、次に示すいくつかの手順を実施します。

1. SW および TPSI2140 をオフにします。BQ79731 はバス電圧 VDC (VBAT+ – VBAT-) を測定します。
2. SW および TPSI2140 をオフにします。抵抗 RH は抵抗 R1 と直列になっています。BQ79731 は、PE から BAT- までの VNoFF 電圧を測定します。
3. SW および TPSI2140 をオンにします。抵抗 RH が短絡しています。BQ79731 は、PE から BAT- までの VNon 電圧を測定します。
4. RisoP および RisoN を計算します。
5. 手順 1 に戻り、新しい監視サイクルを続行します。

図 2-4 に、絶縁インピーダンス監視回路を示します。TPSI2140 接点両端の動作電圧は、並列抵抗 RH および直列抵抗 R1 により、1000V 未満を維持するように設計されています。RH は 1.5MΩ、R1 は 3MΩ です。RH および R1 は 0.1% 精度の抵抗です。R2 は 4.5MΩ、0.1% 精度です。ワースト ケースのシナリオでは、RisoN が短絡し、TPSI2140 がオフのとき、R1、RH、TPSI2140 の組み合わせによりすべてのバス電圧に耐えます。この場合、TPSI2140 両端の電圧は 1000V です。

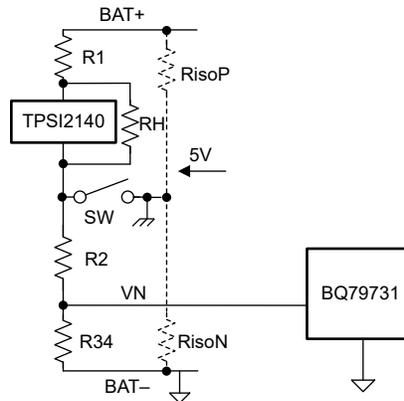


図 2-4. 絶縁インピーダンス監視回路

手順 1～3 において、VDC、VNoff、VNon は、BQ79731 を使って測定でき、式 2 および式 3 を使って計算できます。

$$\text{RisoP} = \frac{\text{VDC} \times (\text{VNon} - \text{VNoff})}{\frac{(\text{VDC} - \text{VNon}) \times \text{VNoff}}{\text{R1}} - \frac{(\text{VDC} - \text{VNoff}) \times \text{VNon}}{\text{R1} + \text{RH}}} \quad (2)$$

$$\text{RisoN} = \frac{\text{VNon}}{(\text{VDC} - \text{VNon}) \left(\frac{1}{\text{R1}} + \frac{1}{\text{RisoP}} \right) - \text{VNon} \times \frac{1}{\text{R34} + \text{R2}}} \quad (3)$$

室温で RisoP および RisoN の範囲が 50kΩ～10MΩ の場合、計算の精度は約 10% になります。

ADC の誤差および抵抗の誤差を考慮すると、室温において RisoP が 50kΩ、RisoN が無限大のとき、ワースト ケースの絶縁インピーダンスの推定値は 7.5% になります。

2.3 主な使用製品

2.3.1 BQ79731-Q1

このデバイスは、バッテリー システム内の分割された高電圧ノードの測定に使用できます。このデバイスは、ヒューズと接触器の間の電圧を測定できます。このデバイスは、バッテリー ジャンクション ボックス (BJB) システム内の絶縁電圧を確認できます。このデバイスは、2 つの電流センス (BQ79731-Q1) パスを備えており、ローサイド シャント抵抗をサポートしています。クーロン カウント (BQ79731-Q1) 機能により、正確な SOC 計算が可能です。高電圧測定、サーミスタ測定、駆動リレーに使用できる 15 個の GPIO および補助入力があります。4 つのソフトウェア出力を備えており、測定パス内の MOSFET (金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ) スイッチを駆動することができます。このデバイスは SPI ハブとして機能し、最大 8 つの個別 SPI デバイスまたはグループと接続できます。過電流保護応答は、ハードウェアピンを使用して自律的に実現でき、危険な過電流イベントに対して高速な保護が可能になります。絶縁型双方向デジタイズチェーンポートは、コンデンサによる絶縁と変圧器による絶縁の両方をサポートしています。このデバイスは、SPI 経由で MCU と通信することもできます。

2.3.2 TPSI2140-Q1

TPSI2140-Q1 は、高電圧車載用および産業用アプリケーション向けに設計された絶縁型ソリッド ステートリレーです。TPSI2140-Q1 は、テキサス・インスツルメンツの高信頼性容量性絶縁技術と内蔵の双方向 MOSFET を組み合わせることにより、2 次側電源を必要としない完全に統合された設計を形成しています。

デバイスの 1 次側はわずか 9mA の入力電流で電力供給されており、また、VDD 電源に逆電力が供給される可能性を防ぐフェイルセーフ EN ピンが組み込まれています。ほとんどのアプリケーションでは、デバイスの VDD ピンを 5V～20V

のシステム電源に接続し、デバイスの EN ピンを 2.1V~20V のロジック High の GPIO 出力で駆動する必要があります。その他のアプリケーションでは、VDD ピンおよび EN ピンを一緒にシステム電源から直接、または GPIO 出力から駆動できます。TPSI2140-Q1 のすべての制御構成では、フォトリレー設計で一般的に必要とされる抵抗またはローサイドスイッチなどの追加の外付け部品は必要ありません。

2 次側は、S1 から S2 までのスタンドオフ電圧が $\pm 1.2\text{kV}$ の双方向 MOSFET で構成されています。TPSI2140-Q1 MOSFET のアバランシェ堅牢性および熱を考慮したパッケージ設計により、外付け部品を必要とせず、システムレベルの絶縁耐力試験 (HiPot) および最大 2mA の DC 高速充電器のサージ電流を堅牢にサポートできます。

2.3.3 ISO7841

ISO7841x デバイスは、 8000V_{PK} の絶縁電圧を持つ高性能クワッド チャネル デジタル アイソレータです。このデバイスは、VDE、CSA、TUV、CQC に準拠した強化絶縁認証を取得しています。このアイソレータは、CMOS または LVCMOS のデジタル入出力を絶縁するとともに、低消費電力で高い電磁耐性と低い放射を実現します。各絶縁チャネルは、二酸化ケイ素 (SiO_2) の絶縁バリアで分離されたロジック入力および出力バッファを備えています。

このデバイスは複数のイネーブルピンを備えています。これらのイネーブルピンを使うと、マルチコントローラ駆動アプリケーションにおいて、各出力を高インピーダンス状態にすることで、消費電力を低減できます。ISO7841 は 3 つの順方向チャネルと 1 つの逆方向チャネルを備えています。入力電力または入力信号が失われた場合、デフォルト出力は ISO7841 デバイスでは High、ISO7841F デバイスでは Low になります。

このデバイスを絶縁型電源と組み合わせると、データバスや他の回路上のノイズ電流がローカル グランドに入り込んでノイズに敏感な回路に干渉または損傷を与えることを、防止できます。革新的なチップ設計およびレイアウト技法により、ISO7841 デバイスは電磁両立性が大幅に強化されているため、システムレベルの ESD、EFT、サージ、および放射のコンプライアンスを容易に達成できます。

ISO7841 デバイスは、16 ピン SOIC ワイド ボディ (DW) および超ワイド ボディ (DWW) パッケージで供給されます。

2.3.4 SN6507

SN6507 は、小さい設計サイズで絶縁型電源を実現する高電圧、高周波プッシュプルトランスドライバです。本デバイスは、簡単、低 EMI (電磁干渉)、磁束キャンセルによるトランスの飽和防止というプッシュプルトポロジの利点を備えています。デューティサイクル制御 (広い入力範囲にかかわらず部品数を低減できます) と高いスイッチング周波数の選択 (トランスを小型化できます) により、さらにスペースを節約できます。

本デバイスは、コントローラと、スイッチングする位相が異なる 2 つの 0.5A NMOS パワー スイッチとを内蔵しています。入力動作範囲は、高精度の低電圧誤動作防止によってプログラムされています。本デバイスは、過電流保護 (OCP)、調整可能な低電圧誤動作防止 (UVLO)、過電圧誤動作防止 (OVLO)、サーマル シャットダウン (TSD)、ブレイク ビフォー メイク回路によりフォルト状態から保護されます。

プログラマブル ソフト スタートによって、突入電流を最小限に抑え、厳しい起動要件を満たす電源シーケンスを実現します。スペクトラム拡散クロック (SSC) と、ピンで設定可能なスルーレート制御 (SRC) は、超低 EMI 要件に対応して放射および伝導によるノイズをさらに低減します。

SN6507 は、10 ピン HVSSOP DGQ パッケージで供給されます。このデバイスは、 -55°C ~ 125°C の温度範囲で動作が規定されています。

2.3.5 TPS7B6950

TPS7B69xx デバイスは、低ドロップアウトのリニアレギュレータであり、最大 40V の V_I で動作し、軽負荷時の静止電流は、わずか $15\mu\text{A}$ (標準値) です。このデバイスは、スタンバイのマイクロ制御ユニットシステム、特に e メーター、火災報知器、煙探知器などの常時オン アプリケーションに適用できます。

このデバイスには、短絡および過電流保護機能が内蔵されています。TPS7B69xx デバイスは、 -40°C ~ 105°C の温度範囲で動作します。

3 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

TIDA-010272 の主な性能は、テキサス・インスツルメンツのラボでテストされました。使用した最終機器とテストのプロセスおよび結果について、このセクションで説明します。

表 3-1 に、TIDA-010272 ボードの接続を示します。

表 3-1. 正の高電圧コネクタ

コネクタおよび ピンの割り当て	機能または 回路図のネット	注
J24-1	該当なし	該当なし
J24-2	BATP	バッテリーの正端子
J24-3	RACKP	ラックの正端子

表 3-2. 負の高電圧バッテリー コネクタ

コネクタおよび ピンの割り当て	機能または 回路図のネット	注
J22-1	RACKN	ラックの負端子
J22-2	BATN	バッテリーの負端子
J22-3	該当なし	該当なし

表 3-3. ホスト インターフェイス

コネクタおよび ピンの割り当て	機能または 回路図のネット	注
J8-1	ISO_OC2_R	BQ79731 CSADC1 からの絶縁された過電流アラーム
J8-3	ISO_SCLK	
J8-5	ISO_GND	
J8-7	ISO_MOSI_RX	BQ7973x の絶縁された MOSI/RX
J8-9	ISO_nCS	
J8-2	ISO_nFAULT_OD	BQ7973x の NFAULT ピン
J8-4	ISO_OC1_R	BQ79731 CSADC2 からの絶縁された過電流アラーム
J8-6	USB2ANY_3.3V	絶縁された USB2ANY 3.3V
J8-8	ISO_MISO_TX	BQ7973x の絶縁された MISO/TX
J8-10	ISO_nUART_SPI	

表 3-4. 電流センサ 1 コネクタ

コネクタおよび ピンの割り当て	機能または 回路図のネット	注
J28-1	SRP1_RES	チャンネル 1 電流センシングの正端子
J28-2	SRN1_RES	チャンネル 1 電流センシングの負端子
J28-3	GND	BQ7973x の GND
J28-4	NTC1_RTN	サーミスタ 1 のリターンピン
J28-5	NTC1_SNS	サーミスタ 1 のセンシングピン

表 3-5. 電流センサ 2 コネクタ

コネクタおよび ピンの割り当て	機能または 回路図のネット	注
J29-1	SRP2_RES	チャンネル 2 電流センシングの正端子
J29-2	SRN2_RES	チャンネル 2 電流センシングの負端子
J29-3	GND	BQ7973x の GND
J29-4	NTC2_RTN	サーミスタ 2 のリターンピン
J29-5	NTC2_SNS	サーミスタ 2 のセンシングピン

表 3-6. デイジーチェーン (COML) コネクタ

コネクタおよび ピンの割り当て	機能または 回路図のネット	注
J35-4	COMLP_ISO	COM ローサイド正
J35-1	COMLN_ISO	COM ローサイド負

表 3-7. デイジーチェーン (COMH) コネクタ

コネクタおよび ピンの割り当て	機能または 回路図のネット	注
J37-1	COMHP_ISO	COM ハイサイド正
J37-4	COMHN_ISO	COM ハイサイド負

表 3-8. 低電圧側電源

コネクタおよび ピンの割り当て	機能または 回路図のネット	注
J1-1	KL30_IN	24V DC 電源の正端子
J1-2	GND_LV	24V DC 電源の負端子
J1-3	GND_LV	24V DC 電源の負端子

3.1 ハードウェア要件

表 3-9 に、テストに使用した機器の概要を示します。

表 3-9. テスト機器の概要

装置	モデルまたは説明
マルチメータ	Agilent® 34401A
高精度シャントシミュレータ	JOY 7307
USB2ANY	テキサス・インスツルメンツ HAP655

ボードを初めてデバッグする際は、[Battery Management Studio \(bqStudio\) ソフトウェア](#)の使用を推奨します。

3.2 テスト構成

図 3-1 に、HMU テスト設定を示します。

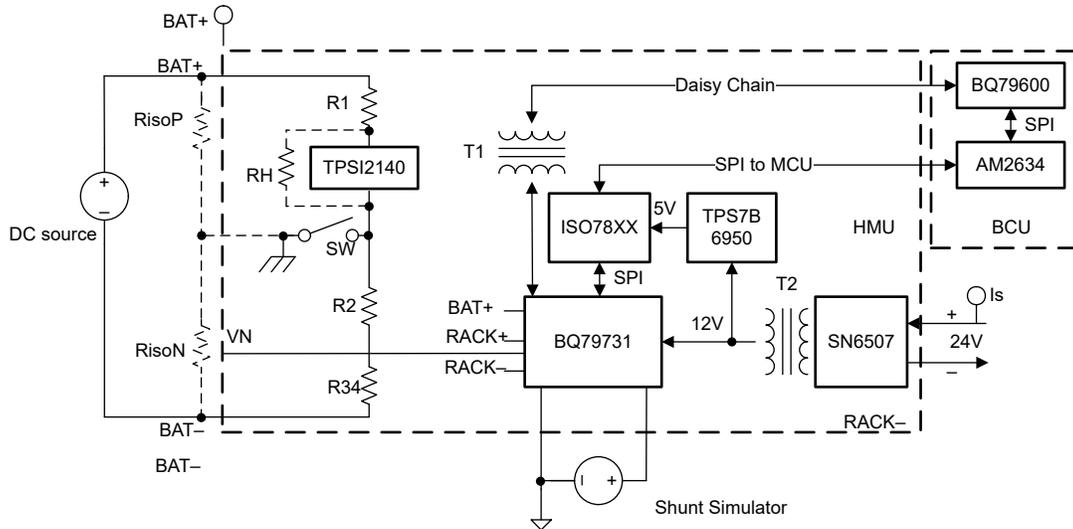


図 3-1. HMU テスト設定

この設計ボードを動作させる前に、以下の手順を行います。このデザインは、1500V ラック構成で作成されました。ボードのテストには、高電圧 DC 電源を使って、ラック全体に電源を供給しました。テストポイント RACK- および BAT- は、DC 電源の負端子に接続します。テストポイント BAT+ は、DC 電源の正端子に接続します。

1. シャントシミュレータは、CSADC1 の電流センシング負端子 (SRN) および電流センシング正端子 (SRP) に接続します
2. 50kΩ および 10MΩ の高電圧抵抗を RisoP および RisoN として使用します

3.3 テスト結果

3.3.1 バス電圧精度

テスト構成は、[図 3-1](#) に示すとおりです。この設計では、1500V DC 電源に接続された基板内の VBAT チャンネルを測定します。電源は 500V~1500V に設定され、ESS の動作電圧は 1100V~1500V と想定します。VF1_7 は、BQ79731 のデータ読み取り値です。VBAT_7 は、BQ79731 によって計算される VBAT 電圧です。VBAT_7 は、VF1_7 に比率を乗算した値です。比率は電圧ゲインで、この設計では 361.7214429 です。キャリブレーションプロセスでは、1100V および 1500V のテストポイントを使用して、BQ79731 VF1 ADC に起因するオフセット誤差と、抵抗の誤差に起因するゲイン誤差を除去します。

[表 3-10](#) に、BQ79731 VF1 で測定したバス電圧精度データを示します。ラダー抵抗および BAT 電圧検出抵抗の精度は 1% です。キャリブレーション前の精度は最大 0.76% です。キャリブレーション後、バス電圧 $\geq 500V$ のときの精度は 0.1% 未満、バス電圧が 500V のときの最大絶対誤差は 0.3V です。これは、バス電圧 $\geq 500V$ のとき 0.5%、バス電圧 $< 500V$ のとき 5V という GBT34131-2023 の要件を容易に満たします。

表 3-10. バス電圧精度データ

VF1_7 (V)	測定値 VBAT_M (V)	キャリブレーション前		キャリブレーション後	
		VBAT_7 (V)	精度	VBAT_7_c (V)	精度
1.3894	499.898	502.5758	0.53%	500.2247	0.07% (絶対値 0.3V)
2.225	799.881	804.8302	0.61%	799.7497	-0.02%
2.7834	999.868	1006.815	0.69%	999.911	0.00%
3.0624	1099.92	1107.736	0.71%	1099.92	0.00%
3.6197	1299.92	1309.323	0.72%	1299.687	-0.02%
4.1783	1499.92	1511.381	0.76%	1499.92	0.00%

[図 3-2](#) に、BQ79731 VF1 で測定したバス電圧精度曲線を示します。

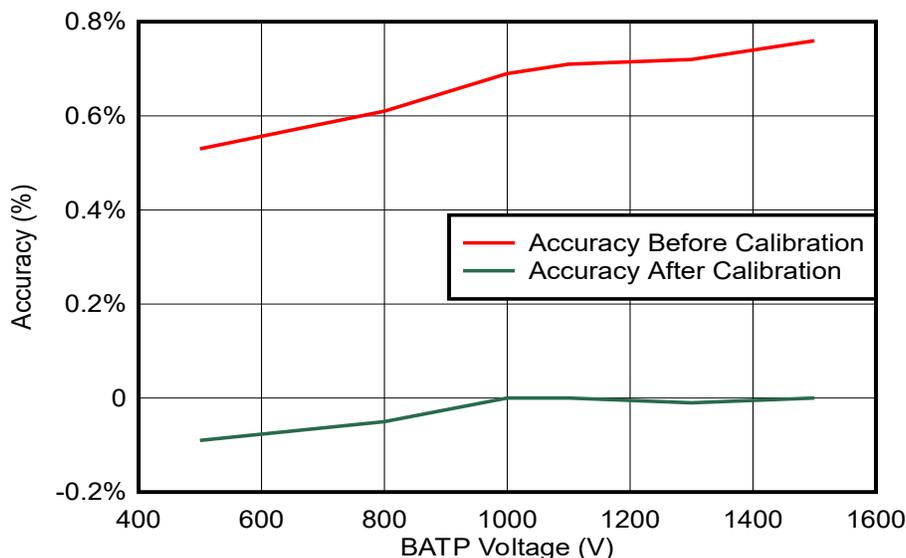


図 3-2. バス電圧精度曲線

3.3.2 電流センシング精度

テスト構成は、[図 3-1](#) に示すとおりです。高精度の電圧源により $-75\text{mV}\sim 75\text{mV}$ の 11 個の電圧テストポイントを用意して、 $150\mu\Omega$ のシャントで $-500\text{A}\sim 500\text{A}$ の範囲のシャント電流をシミュレートします。電流センシング回路の電流分解能を検証するために、 $1500\mu\text{V}$ ($150\mu\Omega$ のシャントを通して 10A) が印加されます。

[表 3-11](#) に、BQ79731 CSADC1 を使って測定した電流センシング精度データを示します。キャリブレーション前の最大誤差は $58.79\mu\text{V}$ です。キャリブレーション後の最大誤差は $9.87\mu\text{V}$ です。シャント抵抗が $150\mu\Omega$ であると仮定すると、キャリブレーション後の電流精度は、シャント電流 $> 10\text{A}$ のとき 0.007% 、シャント電流 $\leq 10\text{A}$ のとき最大 6.56mA の絶対誤差です。

表 3-11. 電流センシング精度データ

シミュレータ_電圧 (μV)	CSADC1 精度 キャリブレーション前		CSADC1 精度 キャリブレーション後		シャント電流センシング精度 キャリブレーション後		
	CSADC1_計測値_キャリブレーション前 (μV)	CSADC1_キャリブレーション前_誤差 (μV)	CSADC1_計測値_キャリブレーション後 (μV)	CSADC1_キャリブレーション後_誤差 (μV)	誤差 (%)	$150\mu\Omega$ シャント電流誤差 (mA)	$150\mu\Omega$ シャント電流 (A)
-75000	-74941.21	58.79	-74990.13	9.87	-0.0001	65.82	-500.00
-2500	-2490.96	9.04	-2501.08	-1.08	0.0004	-7.20	-16.67
-1500	-1491.40	8.60	-1500.98	-0.98	0.0007	-6.56	-10.00
-250	-242.07	7.93	-250.99	-0.99	0.0039	-6.58	-1.67
-150	-142.01	7.99	-150.87	-0.87	0.0058	-5.77	-1.00
0	8.78	8.78	0.00	0.00	NA	0.03	0.00
150	159.25	9.25	150.56	0.56	0.0037	3.70	1.00
250	259.37	9.37	250.73	0.73	0.0029	4.85	1.67
1500	1507.90	7.90	1499.92	-0.08	-0.0001	-0.52	10.00
2500	2507.21	7.21	2499.77	-0.23	-0.0001	-1.54	16.67
75000	74968.64	-31.36	75000.00	0.00	0.0000	0.03	500.00

[図 3-3](#) に、BQ79731 CSADC1 を使って測定したシャント電圧精度曲線を示します。

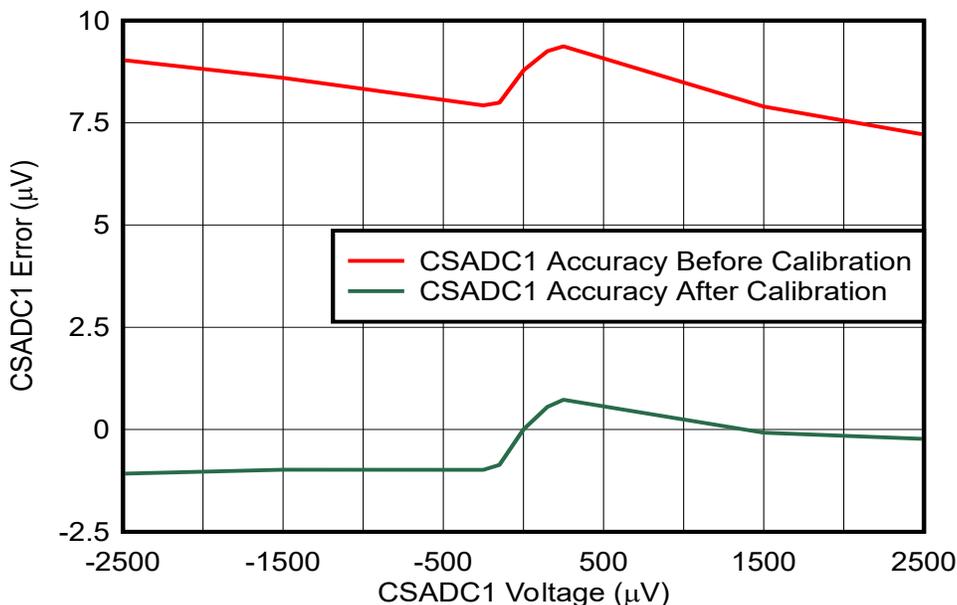


図 3-3. CSADC1 の精度曲線

3.3.3 絶縁インピーダンス精度

テスト構成は、[図 3-1](#) に示すとおりです。ラックをシミュレートするために、高電圧 DC 電源が 1500V を供給します。電流センシング回路の電流精度を検証するために、1500 μ V (150 μ Ω のシャントを通して 10mA) が印加されます。

[表 3-12](#) に、絶縁インピーダンス精度データを示します。RisoP および RisoN の最大誤差は、RisoP が 50k Ω で RisoN が接続されていない場合の 6.32%、3k Ω です。

表 3-12. 絶縁インピーダンス精度データ

RisoP (k Ω)	RisoN (k Ω)	RisoP の誤差	RisoN の誤差
50	未接続	6.32% (3k Ω)	NA
50	50	-0.83%	-1.15%
10000	未接続	-0.67%	NA
10000	10000	-0.65%	-0.28%
未接続	50	NA	-1.54%
未接続	10000	NA	-0.27%

4 設計とドキュメントのサポート

4.1 デザイン ファイル

4.1.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-010272](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.2 BOM

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-010272](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.2 ツールとソフトウェア

ツール

USB2ANY 評価ボード USB2ANY インターフェイス アダプタは、コンピュータから USB 接続経由で評価基板 (EVM) を制御できるようにするためのツールです。USB2ANY は、複数の一般的なプロトコル インターフェイスをサポートし、3.3V および 5V 電源を供給します。

ソフトウェア

BQSTUDIO Battery Management Studio (bqStudio) ソフトウェア

CCSTUDIO Code Composer Studio™ 統合開発環境 (IDE)

4.3 ドキュメントのサポート

1. テキサス・インスツルメンツ、[『LiFePO4 設計の考慮事項』アプリケーション ノート](#)
2. テキサス・インスツルメンツ、[『高精度のバッテリー管理設計をエネルギー ストレージ システム全体にわたって拡張』アプリケーション ブリーフ](#)
3. テキサス・インスツルメンツ、[『多セル産業用アプリケーションのためのバッテリー モニタのスタック方法』技術記事](#)

4.4 サポート・リソース

テキサス・インスツルメンツ **E2E™ サポート・フォーラム**は、エンジニアが検証済みの回答と設計に関するヒントをエキスパートから迅速かつ直接得ることができる場所です。既存の回答を検索したり、独自の質問をしたりすることで、設計に必要な支援を迅速に得ることができます。

リンクされているコンテンツは、各寄稿者により「現状のまま」提供されるものです。これらはテキサス・インスツルメンツの仕様を構成するものではなく、必ずしもテキサス・インスツルメンツの見解を反映したものではありません。テキサス・インスツルメンツの[使用条件](#)を参照してください。

4.5 商標

E2E™, Code Composer Studio™, and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

Bourns® is a registered trademark of Bourns, Inc.

Agilent® is a registered trademark of Agilent Technologies Inc.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

5 著者について

JUNHUA YAN は、テキサス・インスツルメンツの SEM 産業用グリッド インフラおよび電力供給チームのシステム エンジニアです。Junhua は、バッテリー パックおよびエネルギー ストレージ システム アプリケーションを専門としており、産業用バッテリー パックの設計課題に対応する複数の設計を開発した経験があります。

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 © 2024, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

TI 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、TI 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 TI 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 TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI 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。TI 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、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 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。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI 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、TI 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated