

Design Guide: TIDA-010279

最大 1500V のエネルギー ストレージシステム向けスタッカブル バッテリ管理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、全セル温度検出機能を備え、セル電圧精度が高い、リチウムイオン (Li-ion) / リン酸鉄リチウム (LiFePO4) バッテリパック (52s) です。このリファレンス デザインは、各セルの電圧とセル温度を監視し、バッテリパックを保護することで、安全な使用を保証します。このリファレンス デザインは、デイジーチェーンと CAN (コントローラエリアネットワーク) の両方のインターフェイスをサポートしており、最大 1,500V のバッテリエネルギー ストレージシステムでスタッカブル通信を実現できます。このリファレンス デザインはこれらの機能を通じて、大容量 バッテリ パック アプリケーションへの適応性を実現しています。

リソース

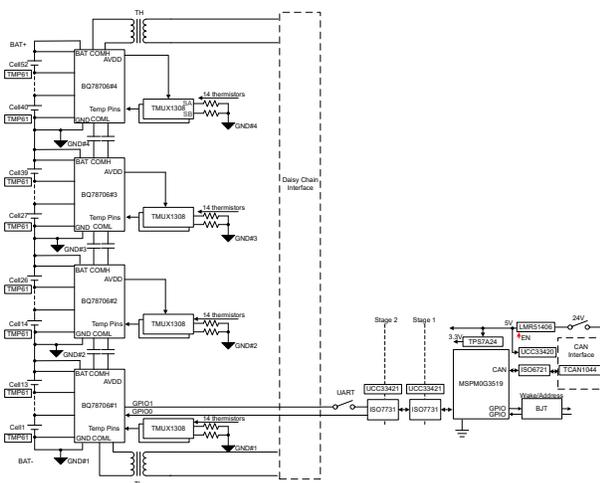
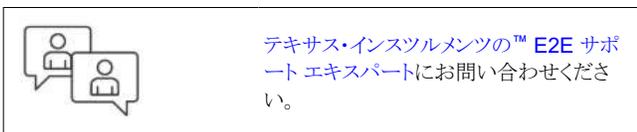
TIDA-010279	デザイン フォルダ
BQ78706、MSPM0G3519	プロダクト フォルダ
TMUX1308、UCC33420	プロダクト フォルダ
ISO7731、UCC33421-Q1	プロダクト フォルダ
LMR51406、TCAN1044-Q1	プロダクト フォルダ

特長

- 電圧精度: $\pm 2.5\text{mV}$ ($-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 時、キャリブレーションなし)
- マルチプレクサ (MUX) による全セル温度検出
- 堅牢かつプログラム可能なバッテリ セルおよびパック 保護機能
- データ リックロ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イジー チェーン通信
- シャットダウン モードで $7\mu\text{A}$
- デイジーチェーンによるスタッカブル アーキテクチャと、最大 1500V の CAN インターフェイスをサポート
- バス バー接続あり、またはバス バー接続なしに対応

アプリケーション

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



1 システムの説明

現在、バッテリー エネルギー ストレージ システム (BESS) は、住宅、商業および産業、グリッド エネルギー ストレージ、管理において重要な役割を果たしています。BESS は、各種の高電圧システム構造を採用しています。商業および産業およびグリッド BESS には、それぞれがスタックされたパックを含む複数のラックが含まれます。住宅用 BESS にはパックのみが含まれます。

パックは、BESS を構成する基本的なモジュールです。パックは、直列および並列接続の複数のバッテリー セルで構成されます。セル チャネル数は 12~64 です。バッテリー セルには、ライフサイクル全体にわたる適切な動作および保存温度、電圧範囲、電流範囲と安全性とが必要とされるため、設計者はパックレベルでバッテリー セルを監視および保護する必要があります。

バッテリー管理ユニット (BMU) は、パック内の各バッテリー セルの電圧と温度をライフサイクル全体にわたって監視するコントローラです。BMU には、電圧と温度を監視するための高い測定精度が求められます。BMU によって収集された情報は、安全および充電管理のために、ラックレベル コントローラのバッテリー制御ユニット (BCU) に送られます。BMU と BCU の間の堅牢かつ高速な通信も求められます。

安全性、規制、コストに関する懸念が、BESS に LiFePO4 バッテリーを採用するという需要を喚起しています。LiFePO4 バッテリーの充電または放電曲線は、約 85%~100% の充電状態 (SOC) の範囲ではかなりの直線性を維持しますが、約 10%~約 85% の SOC の範囲では傾きが急激に変化します。これは、BESS 設計で許容される電圧精度を選択する際に重要となります。ほとんどの条件で、高い SOC 精度と広い放電深度 (DOD) を計算するには 3mV~5mV の精度で測定する必要があります。

通信インターフェイスとして、通信の堅牢性を高めるために CAN (Controller Area Network) が従来から広く使用されています。CAN 構造のコントローラでは、CAN 通信機能を動作させるため、マイクロコントローラ ユニット (MCU)、デジタルアイソレータ、絶縁型電源モジュールが必要とされます。

デジタイズ チェーンで CAN 設計を置き換えることもできます。CAN インターフェイスの場合と比較して、BMU で求められるものは数個のトランスのみです。したがって、特に大容量バッテリー パック アプリケーションでは、デジタイズ チェーン設計は CAN よりもコストの面で有利です。多くの BMU ノードと CAN インターフェイス デバイスで構成される大容量 BESS 内 CAN 構造では、コストが問題となるためです。BMU および BCU 通信インターフェイス間に求められる強化絶縁は、デジタルアイソレータと絶縁型電源モジュールを必要とするため、絶縁要件もコストを上昇させます。

この設計は、大容量バッテリー パック アプリケーションと、住宅、商業および産業、グリッド BESS などにも適用できるアプリケーションを想定しています。本設計は、4 つの BQ78706 デバイス (バッテリー モニタ、バランサ、内蔵ハードウェア保護機能) を使用して、52s バッテリー パックの各セル電圧と温度を監視し、セル過電圧、セル低電圧、過熱などの状況からパックを保護しています。このデザインには、8 個の TMUX1308 デバイスが含まれており、8:1 の汎用入出力 (GPIO) 拡張比に対応しており、最大 52s のセルを測定できます。この設計では、内部セルバランスリング (CB) を使用して、セルチャネルごとに 100mA バランスリング電流を供給しています。

BQ78706 デバイス間のオンボード通信には、コンデンサ絶縁型デジタイズ チェーンを採用しています。BMU と、BMU または BCU との間のオフボード通信には、トランス絶縁型デジタイズ チェーンを採用しています。この設計では、CAN インターフェイスと MCU も組み合わせ、スタッカブル通信を実現します。

2 システム概要

本設計は、4 つの BQ78706 デバイスを使用して、52 セル バッテリー パックの各セル電圧と温度を監視し、セル過電圧、セル低電圧、過熱を含むすべての異常事態からパックを保護しています。図 2-1 において、上側の BQ78706 デバイスが BQ78706#4 で、下側の BQ78706 デバイスが BQ78706#1 です。デジタイズ チェーン通信は、BQ78706#1 デバイスから BQ78706#2 デバイスへの通信が順方向です。

各 BQ78706 は、温度検出のための 11 本の GPIO ピンと、電圧検出のための 14 本の VC ピンを備えています。より少ない GPIO ピンですべての VC チャンネルの温度を監視するため、2 つの TMUX1308 マルチプレクサを使用します。これらのマルチプレクサは、14 個の MUX 関連サーミスタ、2 個の定抵抗、6 個の独立したサーミスタなど、1 個の BQ78706 の温度センシング機能を 11 チャンネルから 20 チャンネルに拡張します。

TMUX1308 の診断を実行して MUX の故障モードを防止するには、各 TMUX1308 の 1 つのチャンネルを定抵抗に接続します。この定抵抗器は、妥当性チェックを実行できるサーミスタの範囲外です。この診断方法を使うと、MUX が特定のチャンネルで動けなくなっていないかどうか、または誤ったチャンネルに対応する電圧を報告していないかどうかを確認できます。

BQ78706 の AVDD ピンは、TMUX1308 に電力を供給するために使用されます。AVDD は RX を AVDD に短絡することでオフ状態に構成できるため、AVDD は外部マルチプレクサ デバイスへのリーク電流がなくシャットダウン電流を低減できます。BQ78706 をウェークアップすると、AVDD はすべての外部負荷に、マルチプレクサまたは他のデバイスにとって十分な 20mA の容量を提供します。

内部パッシブ セル バランシング抵抗は、チャンネルごとに最大 100mA のバランシング電流をサポートできます。奇数および偶数セルバランシングを使用して、平均 50mA のバランシング電流を実現できます。

通信を分離するため、本設計では、2 つの BQ78706 の間のデジタイズ チェーン通信のための 2 つのコンデンサと、BMU または BCU 間のデジタイズ チェーン通信のための 2 つの 1500V 強化トランスを使います。このデジタイズ チェーン通信は、デジタイズ チェーン通信に起因するギャップ電流を低減できるリング通信構造を可能にします。

デジタイズチェーンに加えて、CAN インターフェイスと MCU もこのボードの設計に採用されています。MCU MSPM0G3519 は、4 つの BQ78706 デバイスからデータを収集し、CAN バスにデータを転送するために使用されます。BQ78706 は、UART (ユニバーサル非同期レシーバトランスミッタ) インターフェイス、または MCU への SPI (シリアル ペリフェラル インターフェイス) をサポートしています。この設計では UART を使用します。2 段の強化絶縁を使用して、UL1973 と IEC 62477 の両方で要求される 1500V の絶縁規格沿面距離を達成しています。強化絶縁型パワーモジュールは UCC33421、デジタル アイソレータは ISO7731 で、BQ78706 と MSPM0G3519 の間での RX、TX、フォルト信号を変換します。CAN インターフェイス通信の安定性を高めるため、ISO6721 と UCC33420 を機能絶縁に使用します。

電源レールは、LM51406 を使用して最大 36VDC から 5VDC の電力を供給し、5V を絶縁型パワー モジュールに変換します。

2.1 ブロック図

図 2-1 に、システムブロック図を示します。

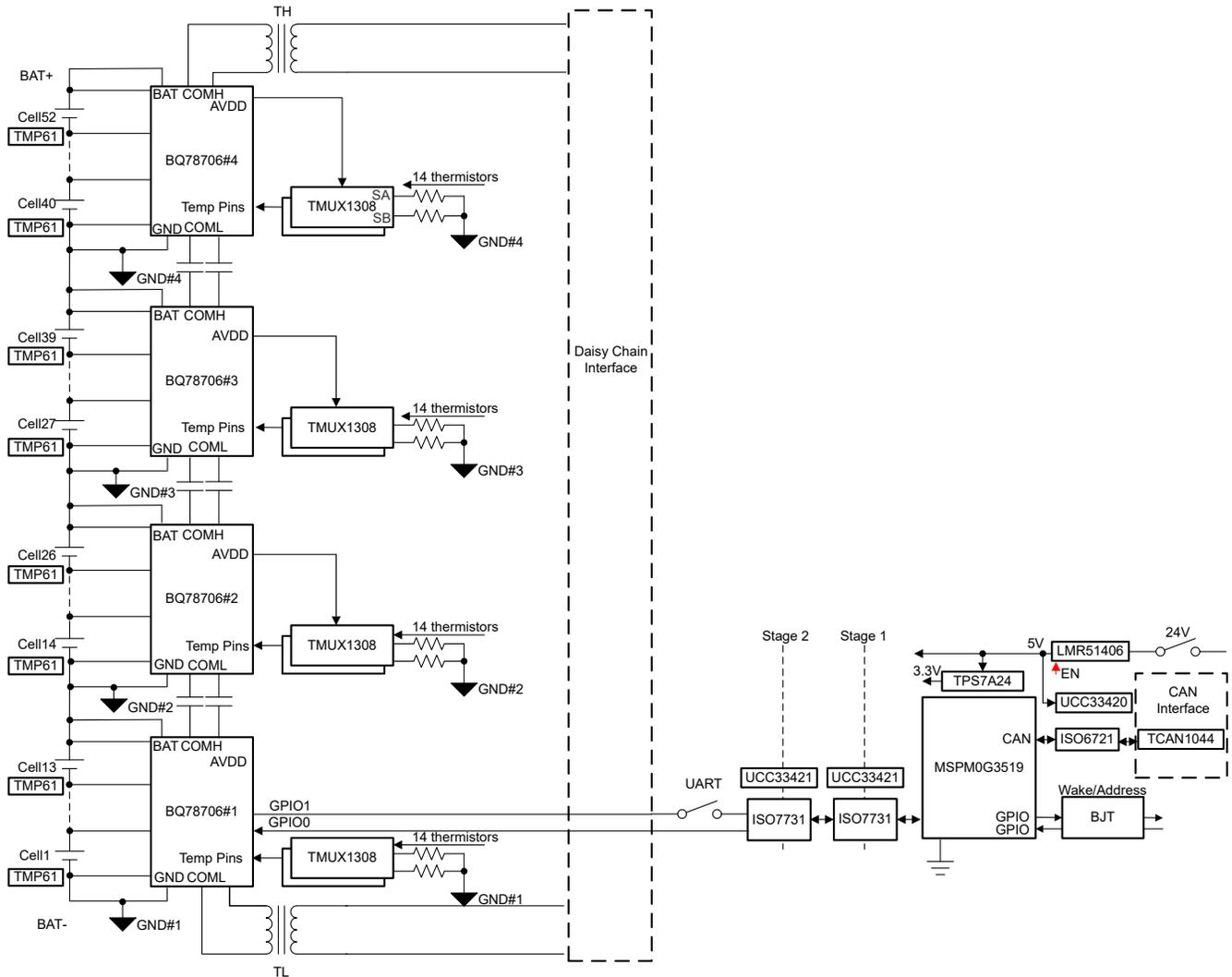


図 2-1. TIDA-010279 BMU のブロック図

2.2 設計上の考慮事項

2.2.1 マルチプレクサ ネットワークおよび切り換え方法

図 2-2 に、すべてのサーミスタとセル電圧を読み取る方法を示します。2 個の TMUX1308 デバイスを使用して、14 のサーミスタと 2 つの定抵抗 TS_R1 および TS_R2 を 1 つの BQ78706 に多重化します。BQ78706 は、TMUX1308 の 8 つのサーミスタ チャンネルをアドレス指定するのに、3 つの GPIO (GPIO9、GPIO10、GPIO11) を使い、2 つの TMUX1308 デバイスの共通出力ピンを読み取るのに、2 つの GPIO (GPIO7、GPIO8) を使います。これは、5 つの GPIO で 16 のサーミスタを切り換えられることを意味します。

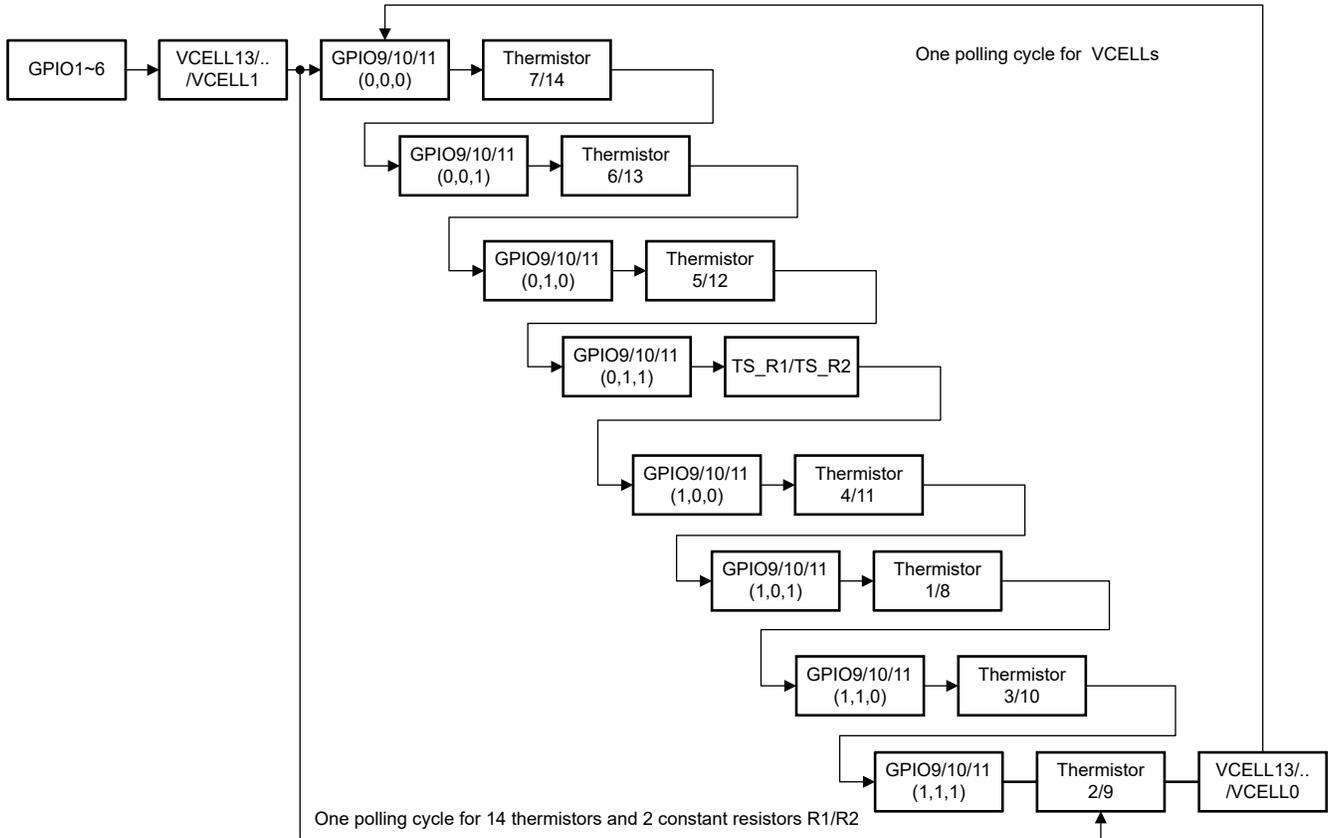


図 2-2. すべてのサーミスタとセル電圧を読み取る方法

TMUX1308 またはその他のマルチプレクサを使用してサーミスタの数を簡単に増やすことができますが、規格によって定義された安全な時間内に全てのサーミスタを接続するための効率的な切り換え方法が、システムには依然として求められます。

サーミスタ スイッチングのループは、スタックされた BQ78706 の GPIO9～GPIO11 全てへのブロードキャスト書き込みと、ADC と OTUT 入力 (レシオメトリック) として構成された GPIO7 と GPIO8 のブロードキャスト読み出しで構成されます。14 のサーミスタと 2 つの定抵抗から温度データを読み取るには、8 つのループが必要です。

BESS ラックの電圧が 1500V であり、直列接続された 416 個のバッテリーセルで 1 つのラックが構成されている場合、8 の BMU (32 の BQ78706 デバイス) を使ってすべてのバッテリーセルを監視します。スタックされた BQ78706 デバイスから温度データを読み取るための 1 つのループを実行するのはより長い時間がかかり、これは GBT34131-2023 規格 (すべてのサーミスタに対して 1 秒のデューティ サイクル) を満たす可能性が高いです。

2.2.2 セル バランシング

図 2-3 に、セル バランシング回路を示します。

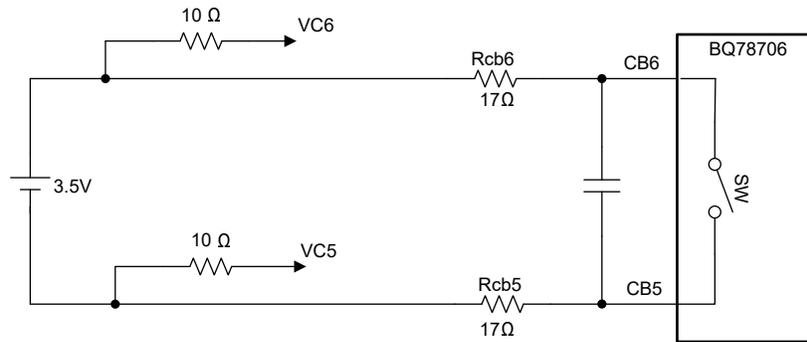


図 2-3. セル バランシング回路

この設計では、100mA のバランシング電流を実現するため、内部の電界効果トランジスタ (FET) を使います。所定の条件を仮定すると、初期 CB 電圧は 3.5V、最終的な CB 電圧は 3.3V となります。CB 電圧が 3.5V のときに 100mA バランシング電流を実現するため、 $R_{cb6} = R_{cb5} = 17\Omega$ を使用します。

2.2.3 スタックされた AFE の通信

セル数が非常に多いシステムの場合、バッテリーセルを監視するために BQ78706 デバイスを直列にスタック接続できます。この設計では、最大 52 直列のバッテリーセルを監視するために 4 つ BQ78706 デバイスを使います。BQ78706 は、直列接続された 13 個のバッテリーセルを監視し、13 直列のスタックの最上位電圧をグラウンドとして基準にします。各 BQ78706 デバイス間の通信には絶縁が必要です。この設計では、2 つの BQ78706 デバイスの間のコンデンサ絶縁型デジタイズチェーンと、オフボード BMU または BCU との間のトランス絶縁型デジタイズチェーンを使っています。BMU は、順逆両方の通信方向をサポートするように設計されています。下側の BQ78706 から上側の BQ78706 への通信方向は、北 (順) です。上側の BQ78706 から下側の BQ78706 への通信方向は、南 (逆) です。図 2-4 に、BMU のリング型通信を示します。

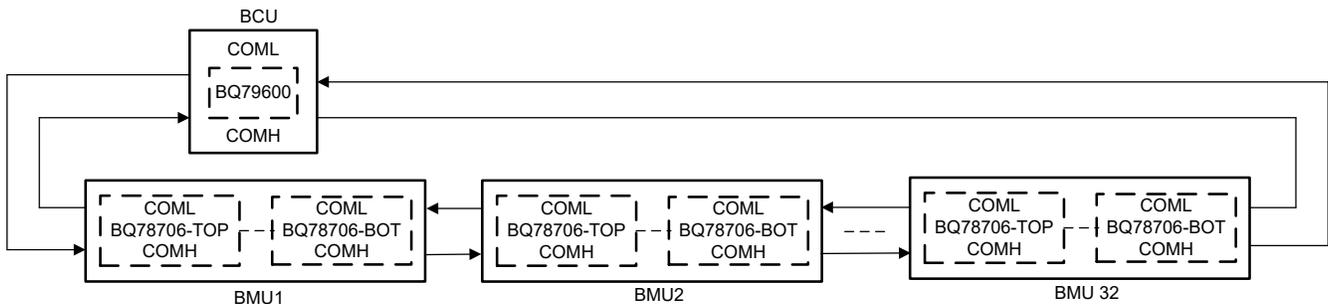


図 2-4. BMU のリング型通信

BCU は UART を使って BQ79600 に ping を発行します。ping は、復帰やシャットダウンなどの単純な動作のための非通信信号です。コマンドは、データを送信するために使われます。BQ79600 は、スタックされた BQ78706 との間で、1 デューティサイクルで北および南にトーンを受受信できます。GBT34131-2023 規格を考慮すると、電圧サイクルは 100ms 未満、温度サイクルは 1 秒未満である必要があります。

2.2.4 MCU および CAN インターフェイス

MCU と CAN インターフェイスは、デジタイズチェーンを置き換えるためのオプションの選択肢です。CAN インターフェイスは、広く使用されている標準インターフェイスです。MCU MSPM0G3519 は、AFE1、AFE2、AFE3、AFE4 から CAN インターフェイスにデータを転送します。AFE1 はブリッジデバイスとして動作します。ISO7731 は、AFE1 の UART インターフェイスと MCU を接続するために使われます。マイコンは低電圧グラウンド、AFE1 は高電圧グラウンドに接続されているため、強化絶縁が必要です。UCC33421 と ISO7731 を使用して 2 つの絶縁段を構築しています。各段は 1500V の動作電圧を供給し、沿面距離 15mm を満たすために 2 つの段を直列接続しています。

シャットダウン モードとアクティブ モードの両方で、BQ78706 の TX ピンは一定の電圧を供給するため、ISO7731 の BQ78706 シャットダウン モードが BQ78706 に直接接続されている場合、ISO7731 には入力 (TX) から電力が供給されます。リーク電流を防止するため、BQ78706 と ISO7731 の間にスイッチを追加しています。スイッチに FET を使用できます。

図 2-5 に、MCU および CAN インターフェイスを示します。

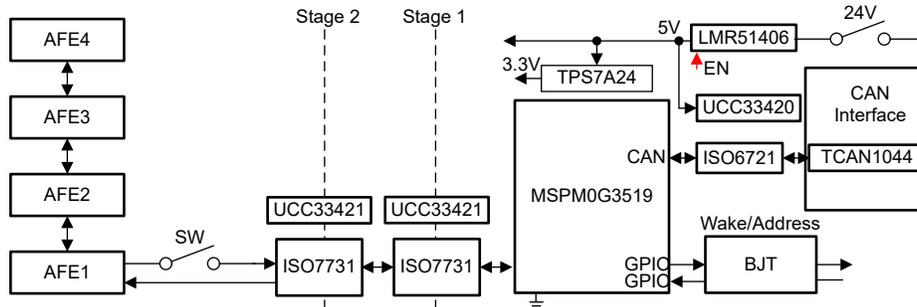


図 2-5. MCU および CAN インターフェイス

UCC33420 と ISO6721 は、CAN インターフェイスの機能絶縁を実現します。この CAN インターフェイスは通常、BCU の CAN バスに接続されています。TCAN1044 など CAN トランシーバの動作電流は非常に小さいです。より高い効率を実現するため、MCU ではなく CAN トランシーバに対して機能絶縁が設定されています。

2.3 主な使用製品

2.3.1 BQ78706

BQ78706 は、エネルギー ストレージシステム (ESS) とポータブル電源 (PPS) の高電圧バッテリー管理システムで、最大 14s のバッテリー モジュールの高精度セル電圧測定を実現します。このデバイスは、厳格な安全要件を満たす最新の ADC アーキテクチャ / 測定システムを搭載しています。トランス (またはコンデンサ) で絶縁されたデジタイズ チェーンと組み合わせて使う本デバイスは、住宅、商業、グリッド スケールのエネルギー ストレージシステムの集中型または分散型アーキテクチャ向けに設計されています。

2.3.2 TMUX1308

TMUX1308-Q1 および TMUX1309-Q1 デバイスは汎用の CMOS (相補型金属酸化膜半導体) マルチプレクサ (MUX) です。TMUX1308-Q1 は 8:1、1 チャンネル (シングルエンド) MUX、TMUX1309-Q1 は 4:1、2 チャンネル (差動) MUX です。このデバイスは、ソース (Sx) およびドレイン (Dx) ピンで、GND から VDD までの範囲の双方向アナログおよびデジタル信号をサポートします。

TMUX13xx-Q1 デバイスは内部インジェクション電流制御機能を備えています。この機能のおかげで、スイッチを保護し入力信号を電源電圧内に維持するために通常使用される外付けのダイオードおよび抵抗ネットワークは不要です。内部インジェクション電流制御回路により、ディスエーブルされた信号バスの信号が電源電圧を上回っても、イネーブルされた信号バスの信号に影響を与えません。また、TMUX13xx-Q1 デバイスには電源ピンへの内部ダイオードパスがないため、電源ピンに接続された部品が損傷し、または電源レールに意図しない電力が供給される危険性がありません。

すべてのロジック入力のスレッショルドは 1.8V ロジック互換で、有効な電源電圧で動作していれば、TTL (トランジスタ - トランジスタ ロジック) と CMOS の両方のロジックとの互換性が確保されます。フェイルセーフ ロジック回路により、電源ピンよりも先に制御ピンに電圧が印加されるため、デバイスへの損傷の可能性が避けられます。

2.3.3 TCAN1044-Q1

TCAN1044-Q1 は、ISO 11898-2:2016 高速 CAN (Controller Area Network) 仕様の物理層要件を満たす高速 CAN トランシーバです。

TCAN1044-Q1 トランシーバは Classical CAN ネットワークおよび最高 8 メガビット/秒 (Mbps) の CAN FD ネットワークの両方に対応しています。TCAN1044-Q1 は VIO 端子による内部ロジックレベル変換機能を内蔵しているため、トランシーバの I/O を 1.8V、2.5V、3.3V、5V のロジック I/O に直接接続できます。このトランシーバは低消費電力スタンバイ

モードと、ISO 11898-2:2016 に定義されたウェイクアップ パターン (WUP) に準拠した「CAN によるウェイク」をサポートしています。TCAN1044-Q1 トランシーバは、サーマル シャットダウン (TSD)、TXD ドミナント タイムアウト (DTO)、電源低電圧検出、最高 $\pm 58V$ のバス フォルト保護に対応する保護および診断機能も備えています。

2.3.4 MSPM0G3519

MSPM0Gx51x マイクロコントローラ (MCU) は、最大 80MHz の周波数で動作する、拡張された Arm Cortex-M0+ 32 ビット コア プラットフォームをベースとする、MSP 高集積超低消費電力 32 ビット MCU ファミリの製品です。これらの MCU は、小型パッケージ (最小 5mm x 5mm) またはピン数の多いパッケージ (最大 100 ピン) で 256KB~512KB のフラッシュ メモリを必要とするアプリケーション向けに、コスト最適化と設計のフレキシビリティの組み合わせを提供します。これらのデバイスには、デュアル CAN-FD コントローラ、サイバーセキュリティ イネーブラ、高性能の統合アナログが含まれており、動作温度範囲全体にわたって優れた低消費電力性能を実現します。

最大 512KB の組込みフラッシュ プログラム メモリ (ECC (誤り訂正符号) 内蔵)、最大 128KB の SRAM (最初の 64KB に対する ECC およびパリティ保護付き) を搭載しています。フラッシュ メモリは 2 つのメイン バンクで構成されており、現場でのファームウェア更新と 2 つのメイン バンク間でのアドレス スワップをサポートしています。

柔軟性の高いサイバーセキュリティ イネーブラを使用して、セキュア ブート、現場での安全なファームウェア更新、IP 保護 (実行専用メモリ)、キー ストレージなどをサポートできます。さまざまな AES 対称暗号モードと TRNG エントロピー ソース用にハードウェア アクセラレーションが提供されています。このサイバーセキュリティ アーキテクチャは、Arm® PSA Level 1 認定を申請中です。

最大 27 個の外部チャネルをサポートする 2 つの同時サンプリング 12 ビット 4Mps ADC、オンチップ電圧リファレンス (1.4V または 2.5V)、1 つの 12 ビット 1Mps DAC、低消費電力モードと高速モードで動作可能な 8 ビット リファレンス DAC を内蔵した 3 つの高速コンパレータなど、一連の高性能アナログ モジュールが搭載されています。

テキサス・インスツルメンツの MSPM0 低消費電力 MCU ファミリーは、アナログおよびデジタル回路をさまざまなレベルで内蔵したデバイスで構成されているため、お客様はプロジェクトのニーズを満たす MCU を見つけることができます。

MSPM0 MCU ファミリーは、ARM® Cortex®-M0+ プラットフォームと包括的な超低消費電力のシステム アーキテクチャを組み合わせため、システム設計者は性能向上と消費電力低減を同時に実現できます。

2.3.5 LMR51406

LMR514xx は、最大 0.6A および 1A の負荷電流を駆動でき、 V_{IN} が広く使いやすい同期整流降圧コンバータです。このデバイスは、4V~42V の広い入力電圧範囲で動作し、レギュレートされていない電源からの電源調整を行うさまざまな産業用アプリケーションに適しています。

LMR514xx は 400kHz と 1.1MHz のスイッチング周波数で動作するため、比較的小型のインダクタを使用でき、設計サイズの最適化が可能です。LMR514xx の PFM バージョンは軽負荷時に高効率を実現し、FPWM バージョンは全負荷範囲にわたり一定の周波数と低出力電圧リップルを達成しています。ソフト スタートと補償回路を内蔵しており、最小限の外付け部品でデバイスを使用できます。

このデバイスには、サイクル単位の電流制限、ヒカップ モード短絡保護、過剰な電力消費時のサーマル シャットダウンなどの保護機能が組み込まれています。

2.3.6 ISO7731

ISO773x デバイスは、高性能の 3 チャネル デジタル アイソレータであり、UL 1577 準拠で 5000V_{RMS} (DW パッケージ) および 3000V_{RMS} (DBQ パッケージ) の絶縁定格を備えています。

このファミリのデバイスは、VDE、CSA、TUV、CQC に従って絶縁定格が強化されています。ISO7731B デバイスは、基本絶縁定格のみを要件とするアプリケーション向けに設計されています。

ISO773x ファミリのデバイスは高い電磁気耐性と低い放射を低消費電力で提供するとともに、CMOS または LVCMOS デジタル I/O を絶縁しています。各絶縁チャネルは、二酸化ケイ素 (SiO₂) の二重の容量性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。

ISO7730 デバイスには 3 つのチャンネルがあり、すべて同じ方向です。ISO7731 デバイスには 2 つの順方向チャンネルと、1 つの逆方向チャンネルがあります。入力電力または入力信号が失われた場合のデフォルト出力は、接尾辞 F のないデバイスでは High、接尾辞 F のあるデバイスでは Low です。

このデバイス ファミリーを絶縁電源と組み合わせて使用することで、RS-485、RS-232、CAN などのデータ バスやその他の回路のノイズ電流が、ローカル グランドに入り込み、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、ISO773x デバイスは電磁両立性が大幅に強化されているため、システムレベルで容易に ESD、EFT、サージ、および放射の規制への準拠が可能です。ISO773x ファミリーのデバイスは、16 ピンの Wide-SOIC および QSOP パッケージで供給されます。

2.3.7 UCC33420

UCC33420 は、トランス技術を内蔵し、1.5W の絶縁出力電力を供給するように設計された、産業用 DC/DC パワーモジュールです。このデバイスは 4.5V ~ 5.5V の入力電圧動作範囲に対応し、5.0V の安定化出力電圧を供給し、5.5V のヘッドルームを選択可能です。

UCC33420 は、3kV_{RMS} の絶縁定格を達成する独自のトランス アーキテクチャを採用すると同時に、低 EMI と優れた負荷レギュレーションを備えています。

UCC33420 には、フォルト通知メカニズム付きのイネーブル ピン、短絡保護、サーマル シャットダウンなど、システムの堅牢性を向上させる保護機能が内蔵されています。

UCC33420 は、高さ 1.00mm、沿面距離および空間距離 4.1mm 超の小型低プロファイル設計の VSON (4.00mm × 5.00mm) パッケージで供給されます。

2.3.8 UCC33421

UCC33421-Q1 は、トランス技術を内蔵し、1.5W の絶縁出力電力を供給するように設計された、車載認定済み DC/DC パワーモジュールです。4.5V ~ 5.5V の入力電圧動作範囲に対応し、5.0V の安定化出力電圧を供給し、5.5V のヘッドルームを選択可能です。

UCC33421-Q1 は、5kV_{RMS} の絶縁定格を達成する独自のトランス アーキテクチャを採用すると同時に、低 EMI と優れた負荷レギュレーションを備えています。

UCC33421-Q1 は、フォルト通知メカニズム付きのイネーブル ピン、短絡保護、サーマル シャットダウンなど、システムの堅牢性を向上させる保護機能を搭載しています。

UCC33421-Q1 は、高さ 2.65mm、沿面距離および空間距離 8.2mm 超の小型低プロファイル設計の SOIC (5.85mm × 7.50mm) パッケージで供給されます。

2.3.9 TMP61

サーミスタ設計ツールには、抵抗値対温度表 (RT 表) を使用した計算機能や、温度を算出するためのその他の便利な手法、および C 言語によるサンプル コードが提供されています。

TMP61 リニア サーミスタは、全温度範囲にわたる線形性と安定した感度を備えているため、簡単かつ正確な方法で温度を変換できます。本デバイスは消費電力が低く、熱容量が小さいため、自己発熱は最小限です。

本質的に高温時にフェイルセーフ挙動を示し環境変化に耐えるこれらのデバイスは、長寿命高性能向けに設計されています。また TMP6 シリーズは、小型であるため熱源に近付けて配置でき迅速な応答が得られます。

NTC サーミスタと比較して、追加の線形化回路が不要、較正が最小限、抵抗公差の変動が小さい、高温での感度が高い、変換方式が簡単などの利点があるため、時間およびメモリを削減できます。

TMP61 は現在、0402 X1SON パッケージ、0603 SOT-5X3 パッケージ、2 ピンのスルーホール TO-92S パッケージで供給されています。

3 ハードウェア、テスト要件、およびテスト結果

TIDA-010279 の重要な性能は、テキサス・インスツルメンツのラボでテスト済みです。このセクションでは、使用した最終機器とテストプロセスおよび結果について説明します。表 3-5 に、TIDA-010271 ボードのハードウェア接続を示します。

表 3-1. バッテリコネクタ J2 – n (n = 1、2、3、4)

コネクタとピンの割り当て	機能または回路図のネット	注
J2-An – 1	RTN_MUX2	サーミスタの負端子
J2-An – 21	TS1	サーミスタ 1 の正端子
J2-An – 2	TS2	サーミスタ 2 の正端子
J2-An – 22	TS3	サーミスタ 3 の正端子
J2-An – 3	TS4	サーミスタ 4 の正端子
J2-An – 23	TS5	サーミスタ 5 の正端子
J2-An – 4	TS6	サーミスタ 6 の正端子
J2-An – 24	TS7	サーミスタ 7 の正端子
J2-An – 5	TS8	サーミスタ 8 の正端子
J2-An – 25	RTN_MUX1	サーミスタの負端子
J2-An – 26	TS9	サーミスタ 9 の正端子
J2-An – 6	TS10	サーミスタ 10 の正端子
J2-An – 27	TS11	サーミスタ 11 の正端子
J2-An – 7	TS12	サーミスタ 12 の正端子
J2-An – 28	TS13	サーミスタ 13 の正端子
J2-An – 8	TS14	サーミスタ 14 の正端子
J2-An – 10	Module_N	BQ78706 グランド
J2-An – 31	CELL0	CELL1 の負端子
J2-An – 11	CELL1	CELL1 の正端子
J2-An – 32	CELL2	CELL2 の正端子
J2-An – 12	CELL3	CELL3 の正端子
J2-An – 33	CELL4	CELL4 の正端子
J2-An – 13	CELL5	CELL5 の正端子
J2-An – 34	CELL6	CELL6 の正端子
J2-An – 14	CELL7	CELL7 の正端子
J2-An – 35	CELL8	CELL8 の正端子
J2-An – 15	CELL9	CELL9 の正端子
J2-An – 36	CELL10	CELL10 の正端子
J2-An – 16	CELL11	CELL11 の正端子
J2-An – 37	CELL12	CELL12 の正端子
J2-An – 17	CELL13	CELL13 の正端子
J2-An – 38	CELL14	CELL14 の正端子
J2-An – 18	CELL15	CELL15 の正端子
J2-An – 39	CELL16	CELL16 の正端子
J2-An – 19	CELL17	CELL17 の正端子
J2-An – 40	CELL18	CELL18 の正端子
J2-An – 20	Module_P	BQ78706 電源

表 3-2 に、デジチェーン (COMH) コネクタの情報を示します。

表 3-2. デジチェーン (COMH) コネクタ

コネクタとピンの割り当て	機能または回路図のネット	注
J8-3	BMU_COMMH_P	COM ハイサイド正
J8-4	BMU_COMMH_P	COM ハイサイド負

表 3-3 に、デジチェーン (COML) コネクタの情報を示します。

表 3-3. デジチェーン (COML) コネクタ

コネクタとピンの割り当て	機能または回路図のネット	注
J7-1	BMU_COMML_N	COM ローサイド負
J7-2	BMU_COMML_P	COM ローサイド正

表 3-4 に、CAN および電源インターフェイスの機能の詳細を示します。

表 3-4. CAN および電源インターフェイス

コネクタとピンの割り当て	機能または回路図のネット	注
J5-1	PGND	CAN インターフェイスの GND
J5-2	BMU_WAKEOUT_C	BMU ウェーク アップ出力
J5-3	CAN0_CANH	CAN が High
J5-4	CAN0_CANL	CAN が Low
J5-5	LV24V	CAN インターフェイスの電源
J5-6	BMU_WAKEIN_C	BMU ウェークアップ入力
J5-7	CAN0_CANL	CAN が High
J5-8	CAN0_CANH	CAN が High

3.1 ハードウェア要件

表 3-5 に、テストに使用した機器の概要を示します。

表 3-5. 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
バッテリー シミュレータ	TZ1104
USB2ANY	テキサス・インスツルメンツ HAP655
ロジック アナライザ	Kingst® LA5016

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。本設計は 52s パック構成で作成されました。パック全体をシミュレーションするため、本ボードは 24s バッテリ シミュレータを使ってテストされました。13 チャンネルのバッテリー シミュレータを使用し、BQ78706#1、BQ78706#2、BQ78706#3、BQ78706#4 コネクタのセル電圧入力端子に接続した 4 本のケーブルを使用して、各チャンネルを分離しています。

図 3-1 に、デイジーチェーンと精度の BMU テスト設定を示します。

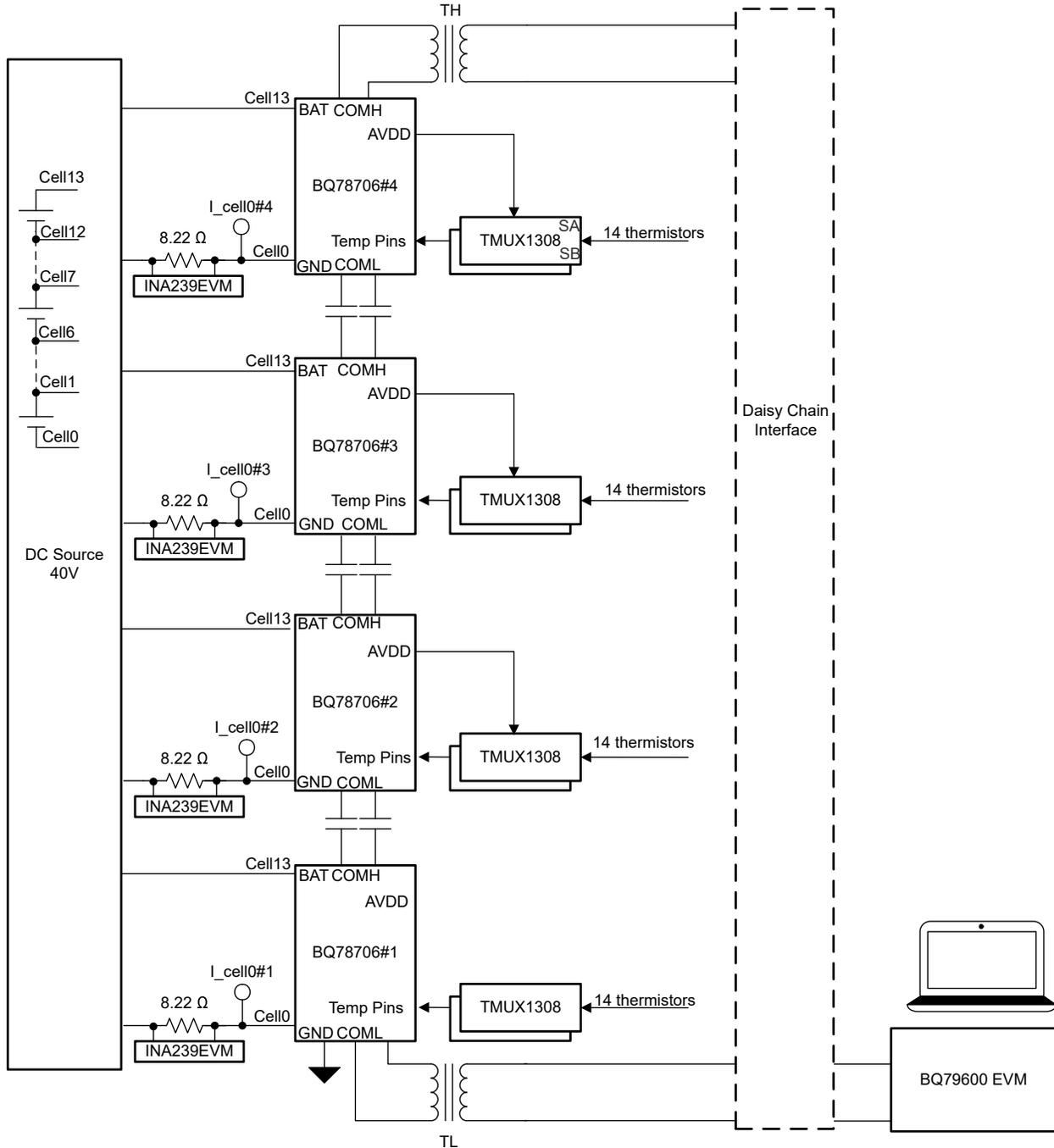


図 3-1. デイジーチェーンと精度の BMU テスト設定

3.3 テスト結果

3.3.1 デイジー チェーン

この設計では、BQ76900-Q1 COMHP-COMHN および BQ78706#1 COMLP-COMLN 応答フレームのデイジーチェーン波形をテストします。

表 3-6 に BQ76900-Q1 のテスト結果を示します。表 3-7 に BQ78706#1 のテスト結果を示します。表の MIN パラメータと MAX パラメータが測定条件です。表 3-6 は、正のパルス幅、負のパルス幅、立ち上がりスルーレート、立ち下がりスルーレートが条件を十分に満たしていることを示しています。

表 3-6. BQ76900-Q1 COMHP-COMHN のテスト結果

パラメータ	条件	最小の基準	テスト結果	最大の基準
正のパルス幅	COMP-COMN において、立ち上がりエッジの +1.8V から次の立ち下がりエッジの -1.8V まで測定	230ns	252ns	270ns
負のパルス幅	COMP-COMN において、立ち下がりエッジの -1.8V から次の立ち上がりエッジの +1.8V まで測定	230ns	260ns	270ns
立ち上がりスルーレート	COMP-COMN において、立ち上がりエッジの -1.8V~+1.8V を測定		12ns	90ns
立ち下がりスルーレート	COMP-COMN において、立ち下がりエッジの +1.8V~-1.8V を測定		12ns	90ns

表 3-7. BQ78706 COMLP-COMLN テスト結果

パラメータ	条件	最小の基準	テスト結果	最大の基準
正のパルス幅	COMP-COMN において、立ち上がりエッジの +1.2V から次の立ち下がりエッジの -1.2V まで測定	230ns	252ns	270ns
負のパルス幅	COMP-COMN において、立ち下がりエッジの -1.2V から次の立ち上がりエッジの +1.2V まで測定	230ns	253ns	270ns
立ち上がりスルーレート	COMP-COMN において、立ち上がりエッジの -1.2V~+1.2V を測定		19ns	60ns
立ち下がりスルーレート	COMP-COMN において、立ち下がりエッジの +1.2V~-1.2V を測定		20ns	60ns

3.3.2 セル電圧の精度

BQ78706 はすでに $\pm 2.4\text{mV}$ の精度 ($-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ 時) を達成しているため、セル電圧精度をさらに向上させるための較正は、この設計では行いません。LiFePO4 セルの代表的な電圧範囲は 2.5V (0% SOC)~3.6V (100% SOC) であるため、この設計では、2.5V~3.6V のセル電圧を得るため、バッテリーシミュレータを使って BMU の VCELL 精度を検証しています。

BQ78706#1 のすべてのセルチャンネルの誤差の最大値は 0.7mV です (室温 22.7°C時)。図 3-2 にセル電圧精度を示します。

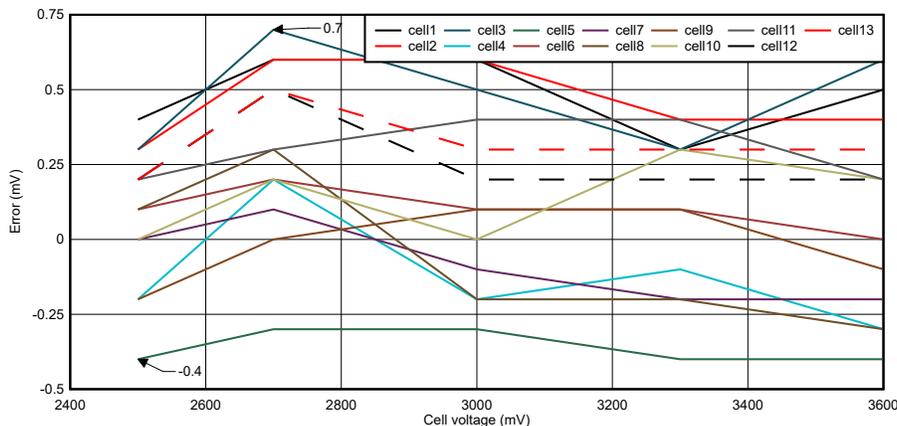


図 3-2. セル電圧の精度

3.3.3 TMP61 を使用する温度検出

BMU 温度センシング機能を検証するために、4 つの TMP61 サーミスタを使用します。このセクションでは、TMP61 を使用した BQ78706 による温度測定方法に注目します。

この設計では、GPIO1～GPIO8 を ADC および OTUT 入力 (レシオメトリック) として構成しています。GPIO3～GPIO6 は、10kΩ プルアップ抵抗を使用して TMP61 に接続されます。例として GPIO3 を使用すると、RT3 は GPIO3 に接続された TMP61 の抵抗、RATIO3 は GPIO3_RATIO の読み取りデータ、 R_{pull} は 10kΩ プルアップ抵抗、T3 は TMP61 による温度検出です。式 1 を使用して RT3 を計算します。

$$RT3 = \frac{RATIO3}{1 - RATIO3} \times R_{pull} \quad (1)$$

TMP61 では、4 次多項式 TMP が提供されます。式 2 を使用して T3 を計算します。

$$T3 = A4 \times RT3^4 + A3 \times RT3^3 + A2 \times RT3^2 + A1 \times RT3 + A0 \quad (2)$$

ここで、

- $A0 = -2.720252E+02$ 、 $A1 = 5.256220E-02$ 、 $A2 = -3.442327E-06$ 、
 $A3 = 1.370186E-10$ 、 $A4 = -2.227207E-15$

このテストでは、BQ78706 の GPIO3 の読み取りデータは 47.79% です。対応する RT3 は 9916.35Ω です。温度 T3 は 22.8°C です。TMP61 測定の精度は、TMP61 [サーミスタ設計ツール](#)を参照してください。

3.3.4 温度検出タイミング

このテストでは、1つの BMU と BQ79600 評価基板を使います。BQ78706#1 のテストポイントは、GPIO7、GPIO9、GPIO10、GPIO11、COMLP など、図 3-3 に記載されています。温度検出テストソフトウェアは、図 2-2 の手順に従います。

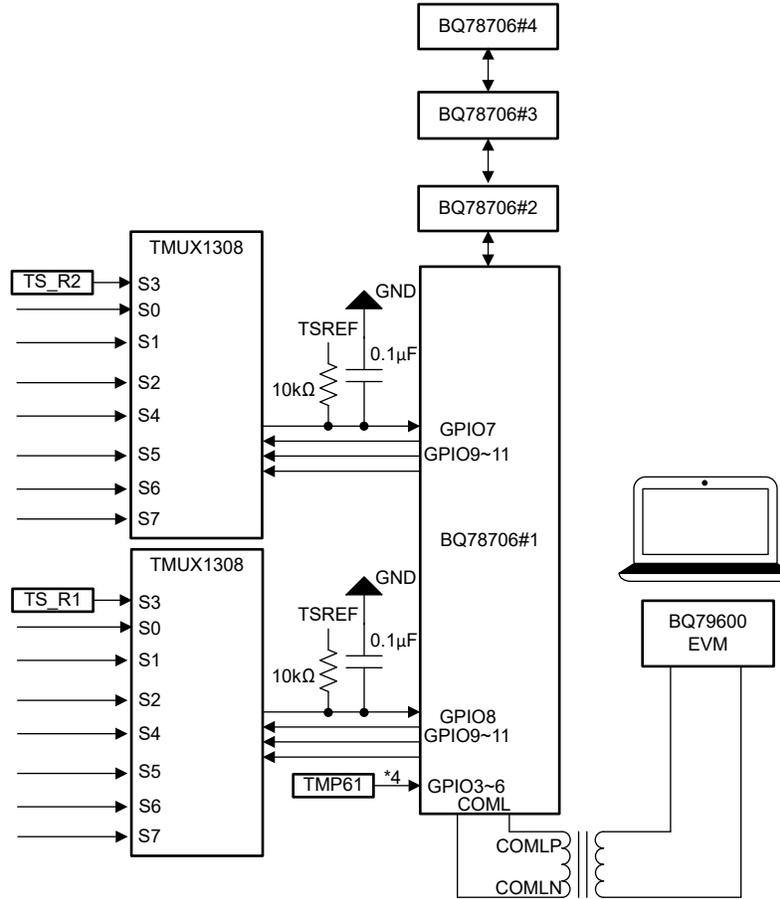


図 3-3. 温度検出のテスト設定

図 3-4 に、MUX による温度検出のタイミングを示します。



図 3-4. MUX による温度検出タイミング

このテストでは、すべてのサーミスタと電圧を読み取るために 8 つのステップが必要です。各ステップには、TMUX1308 を設定するブロードキャスト書き込みと、スタックされた BMU 内のすべての BQ78706 デバイスからの GPIO7 と GPIO8 のブロードキャスト読み出しが含まれます。各ステップのプロセスを明確に示すために、読み取りコマンドは使用しません。S0～S8 から TMUX1308 チャンネルを選択するためには write コマンドのみを使用します。RS_R2 はチャンネル S3 で接続されており、ロジックアナライザが信号 0 として認識できる 1kΩ の小さい抵抗値になっています。図 3-5 では、8 つのステップが 1 つずつ転送され、ステップ 0 からステップ 7 までの持続時間は 27.07ms です。このプロセスは、8 つの TMUX1308 ステータスの転送が正しく動作することを示します。

MUX チャンネルを切り替えるときは、セトリングタイムを考慮する必要があります。この設計では、フィルタ コンデンサは 0.1μF、プルアップ抵抗は 10kΩ です。チャンネル S3 が S4 に切り替わると、GPIO7 の電圧は 0.455V から 5V に変化します。回路の定数時間は 1ms であり、GPIO7 の電圧が安定して変化が 1mV 以内になるには 9ms 以上が必要です。図 3-3 に、GPIO7 MUX の電圧セトリング波形を示します。

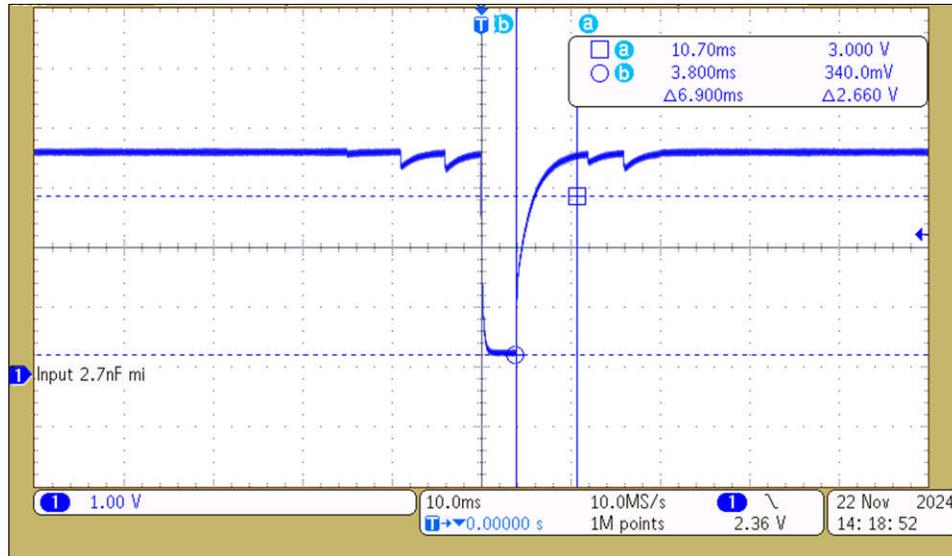


図 3-5. MUX 電圧セトリング波形

3.3.5 セル バランシングと放熱性能

このテストでは、BMU の下側の BQ78706 デバイスをテストするため、室温 (22.7°C) と 3.5V のセル電圧の条件下で、バッテリー シミュレータを使っています。自動バランシング制御を使い、30 分のデューティ サイクルでチャンネル 1 の CB FET をイネーブルにします。30 分のセル バランシングの後、温度は安定します。

表 3-8 に、DC 電源の BQ78706#1 の Cell1 バランシング電流を示します。セル バランシング電流は 98.23mA です。

表 3-8. DC 電源からのセル バランシング電流

セル	セル電圧 DC 電源出力 (V)	セル電圧 BMU 入力 (V)	Rcb の両端の電圧 (V)	バランシング 電流 (mA)	温度 上昇 (°C)
1	3.509	3.448	1.674	98.23	7.4

Cell1 のセルバランシング温度を 図 3-6 に示します。温度上昇の最大値は 7.4°Cです。

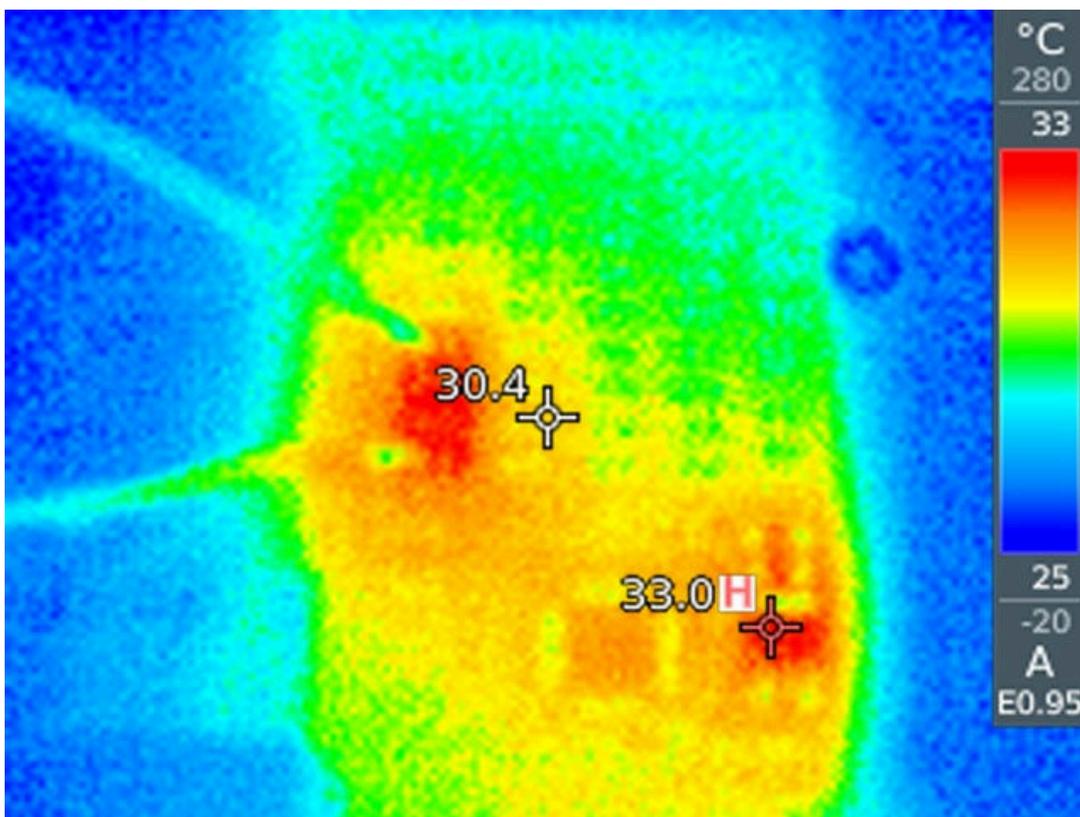


図 3-6. Cell1 のセル バランシング温度

3.3.6 消費電流

図 3-7 に消費電流のテスト構成を示します。シャットダウンモードとアクティブモードという2つの動作モードがテストされます。Cell0 は、BQ78706 の GND ピンに電源ケーブルが直接接続される場所であるため、各 BQ78706 の Cell0 が電流測定のポイントとして選択されています。どちらのモードでも、DC 電源が CELL0 と CELL13 の間に 40V の電圧を設定します。また、DC 電源の負端子と各 BQ78706 デバイスの GND の間に 8.22Ω の電流センシング抵抗を追加します。INA239 評価基板を使用して、電流検出抵抗の両端の電圧を測定します。サンプルレートは 2ms で、平均計算のために 60000 ポイントのデータが収集されます。

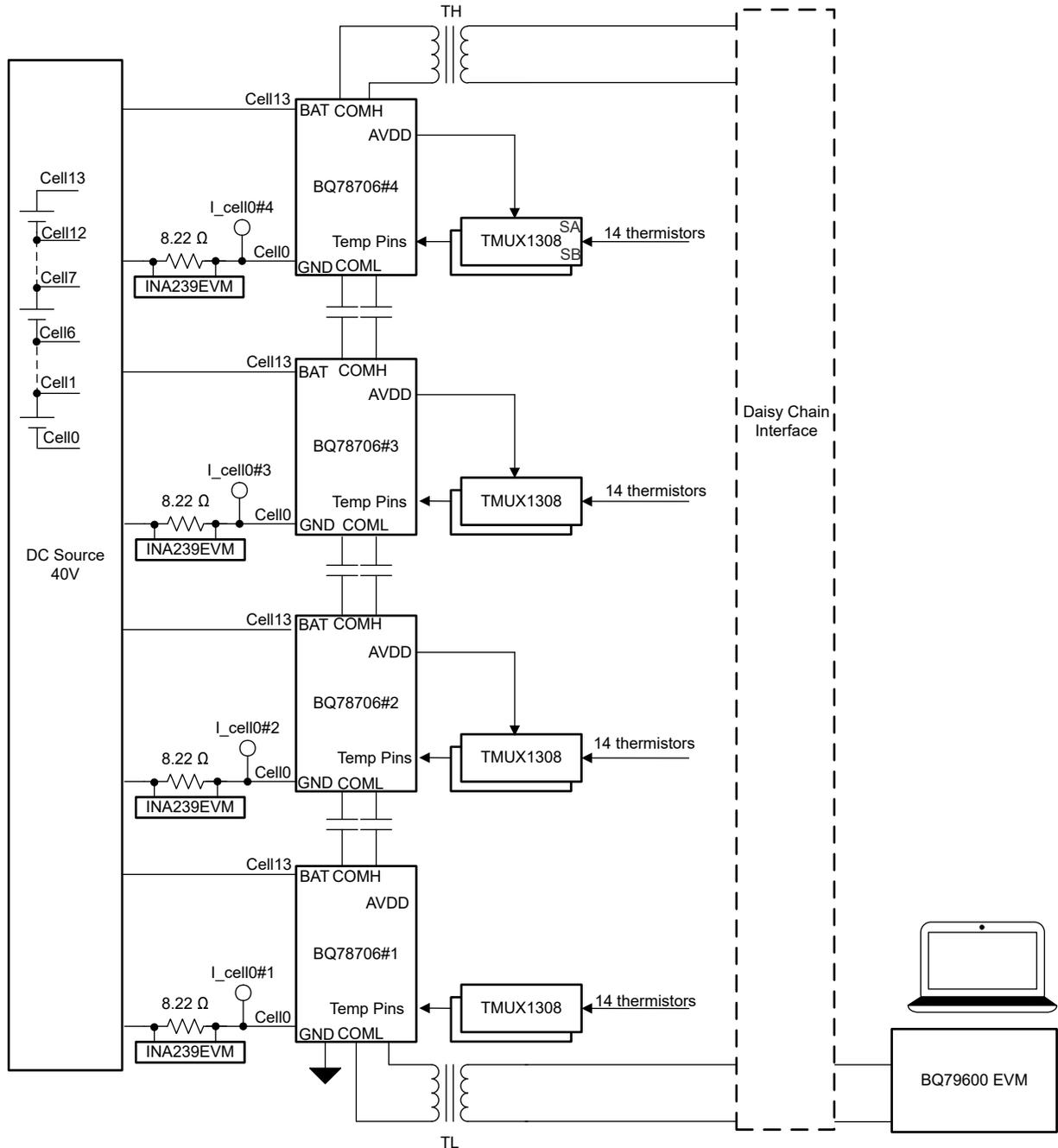


図 3-7. 消費電流のテスト構成

アクティブモードでは、BQ79600 評価基板はセル電圧ポーリング ループを実行します。シャットダウン モードでは、BQ78706 ピンに流れ込むリーク電流は 3.416 μ A、3.65 μ A、4.258 μ A です。アクティブ モードでは、動作電流は 10.693mA、10.673mA、10.544mA、10.717mA です。アクティブモードでの最大 AFE ギャップ電流は 134 μ A です。

表 3-9 に、BMU の消費電流を示します。

表 3-9. BMU 消費電流

説明		I _{cell0#1}	I _{cell0#2}	I _{cell0#3}	I _{cell0#4}
シャットダウン・モード	電流 (μ A)	3.416	3.65	3.65	4.258
アクティブ モード	電流 (mA)	10.400	10.430	10.296	10.426

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-010279](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.2 BOM

回路図をダウンロードするには、[TIDA-010279](#) 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](#) USB2ANY インターフェイス アダプタ

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、[『BQ78706 機能安全準拠 14S バッテリ モニタ』データシート](#)
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 モニタのスタック方法』E2E™ フォーラム](#)
4. テキサス・インスツルメンツ、[『バッテリ管理システムにおけるセル監視ユニットの機能拡張』アプリケーション ブリーフ](#)

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

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

Arm®, ARM®, and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.

Agilent® is a registered trademark of Agilent Technologies Inc.

Kingst® is a registered trademark of Qingdao Kingst Electronics Co., Ltd.

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 エネルギー インフラ チームのシステム エンジニアです。Junhua は、バッテリ 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 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 © 2025, Texas Instruments Incorporated