

Design Guide: TIDA-010247

48–1500V エネルギー ストレージ システム向け、高精度バッテリー管理 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、BQ769x2 バッテリー モニタ ファミリーをスタック形式で使用した、ハイサイド N チャンネル MOSFET 制御 (最大 32s:32 個直列) のバッテリー管理ユニット (BMU) を示しています。また、BMU スタッキングによる高電圧 (最大 1500V) のエネルギー ストレージ システム アプリケーション向けの CAN インターフェイスも搭載されています。ハイサイド N チャンネル MOSFET アーキテクチャと最適化された駆動回路により、スイッチを簡単に制御できます。このリファレンス デザインは、スタンバイモードとシップ モードで消費電流を低減し、2 つのグループ間の電流ギャップを最適化します。48~1500V のエネルギー ストレージ システム向けです。

リソース

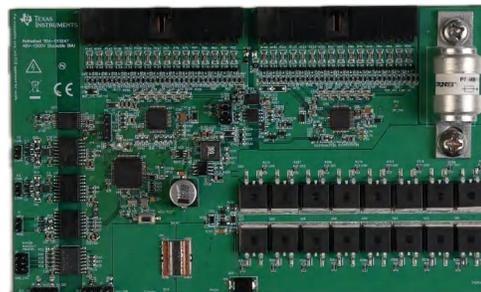
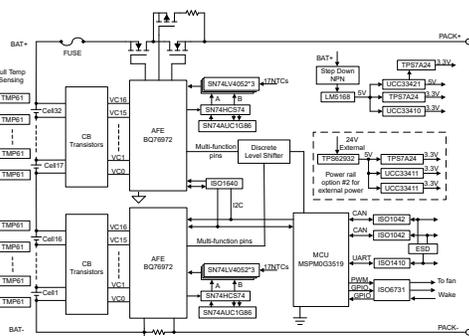
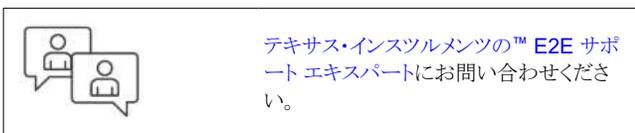
TIDA-010247	デザイン フォルダ
BQ76972, LM5168, TPS62932	プロダクト フォルダ
MSPM0G3519	プロダクト フォルダ
UCC33410, UCC33421-Q1	プロダクト フォルダ
ISO1640, ISO1042	プロダクト フォルダ
TPS7A24, TMP61, TPD2E007	プロダクト フォルダ

特長

- 固定オフセット調整機能を搭載し、25°Cにおけるリン酸鉄リチウムイオンセルの電圧測定精度 $\pm 1.8\text{mV}$ を実現
- 出荷モードの消費電流: 7 μA
- 堅牢かつプログラム可能なバッテリーセルおよびシステム保護機能
- 逆方向のチャージャ、およびパック側が高電圧の場合の対処
- ハイサイド N チャンネル MOSFET アーキテクチャによる強力な駆動能力
- CAN を介して最大 1500V のスタック アーキテクチャをサポート

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)
- HEV/EV のバッテリー管理システム (BMS)
- その他の産業用バッテリー パック (10S 以上)
- ポータブル電源



1 システムの説明

エネルギー ストレージ システム (ESS) は、再生可能エネルギーのアプリケーションにおいて重要な役割を果たします。システムの電圧、容量、使用方法に応じて、ESS は、住宅用 ESS、商業用および産業用 ESS、グリッド ESS の 3 つのカテゴリに分類されます。商業用および産業用 ESS、グリッド ESS には、複数のラックがあり、それぞれスタックされたパックが含まれます。住宅用 ESS にはパックのみが含まれます。

直列および並列に接続されたバッテリー セルで構成されたバッテリー パックは、ESS を構成する基本モジュールです。重量制限と長時間の耐久性が求められるため、バッテリー セルの化学組成は、鉛酸から、リチウムイオン、リチウムポリマ、またはリン酸鉄リチウムイオン (LiFePO₄) タイプへと移行し、パック電圧は 24V または 48V から 96V または 192V、さらにはそれ以上に変化しています。これらのバッテリーの化学組成は、体積エネルギー密度、重量エネルギー密度の両方において優れています。これらのバッテリーの化学組成は高いエネルギー密度により、体積と重量を低減するという利点をもたらしますが、一方で安全性に関する懸念が伴い、より正確で複雑な監視と保護が必要とされています。懸念事項とは、セルの低電圧 (CUV) とセルの過電圧 (COV)、過熱 (OT)、充電時 (OCC) と放電時 (OCD) の過電流、短絡放電 (SCD) です。これらはいずれも、セルの劣化の加速を引き起こし、熱暴走や爆発につながるおそれがあります。このため、何か異常な状況が発生した場合、パック電流、セル温度、および各セルの電圧をタイムリーに監視する必要があります。バッテリー パックは、これらすべての状況から保護する必要があります。ここでは、常に良好な測定精度が求められ、特にセル電圧、パック電流、セル温度は重要です。正確な保護機能とバッテリー パックの充電状態 (SoC) 計算を実現するには、高い精度が必須です。LiFePO₄ バッテリー パック アプリケーションでは電圧がフラットなため、特にこのことが当てはまります。バッテリー駆動アプリケーションのもう 1 つの重要な特長は、特にシップ モードやスタンバイ モードでの消費電流です。消費電流が小さいほど、より多くのエネルギーを節約でき、バッテリーを過放電することなく、保存時間を延長できます。

BMU 間の通信インターフェイスには、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。もう一つの手法はデジタイゼーションで、CAN インターフェイスよりも少ない部品で適切に動作しますが、この手法ではバッテリー管理 IC がデジタイゼーション通信をサポートしている必要があります。つまり、このプロトコルは IC ベンダーによって独自に定義されています。

このデザインは、最大 32s のバッテリーセルに対応する 2 つの BQ769x2 バッテリー モニタをスタッキングしたもので、48V および住宅用バッテリー パックのアプリケーションに焦点を当てています。また、CAN インターフェイスのスタッキング機能を統合することで、商業用および産業用 ESS などの高電圧アプリケーションとの互換性を提供します。セルの過電圧、セルの低電圧、過熱、充電時と放電時の過電流、短絡放電など、あらゆる異常な状況からバッテリー パックを保護するための保護機能一式が含まれています。ハイサイド MOSFET 制御により、フォルト状態や MOSFET がオフの際でも、外部との通常の通信が可能です。このデザインでは、住宅用 ESS と商業用および産業用 ESS の 2 種類の補助電源アーキテクチャを慎重に構成しています。このデザインは、限られた部品数とシンプルな制御方式により、超低消費電流の出荷モード (10 μ A) とスタンバイ モード (300 μ A) を実現しています。また、32s セル温度測定をサポートするためのサーミスタ マルチプレクサ回路も搭載しています。

2 システム概要

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。

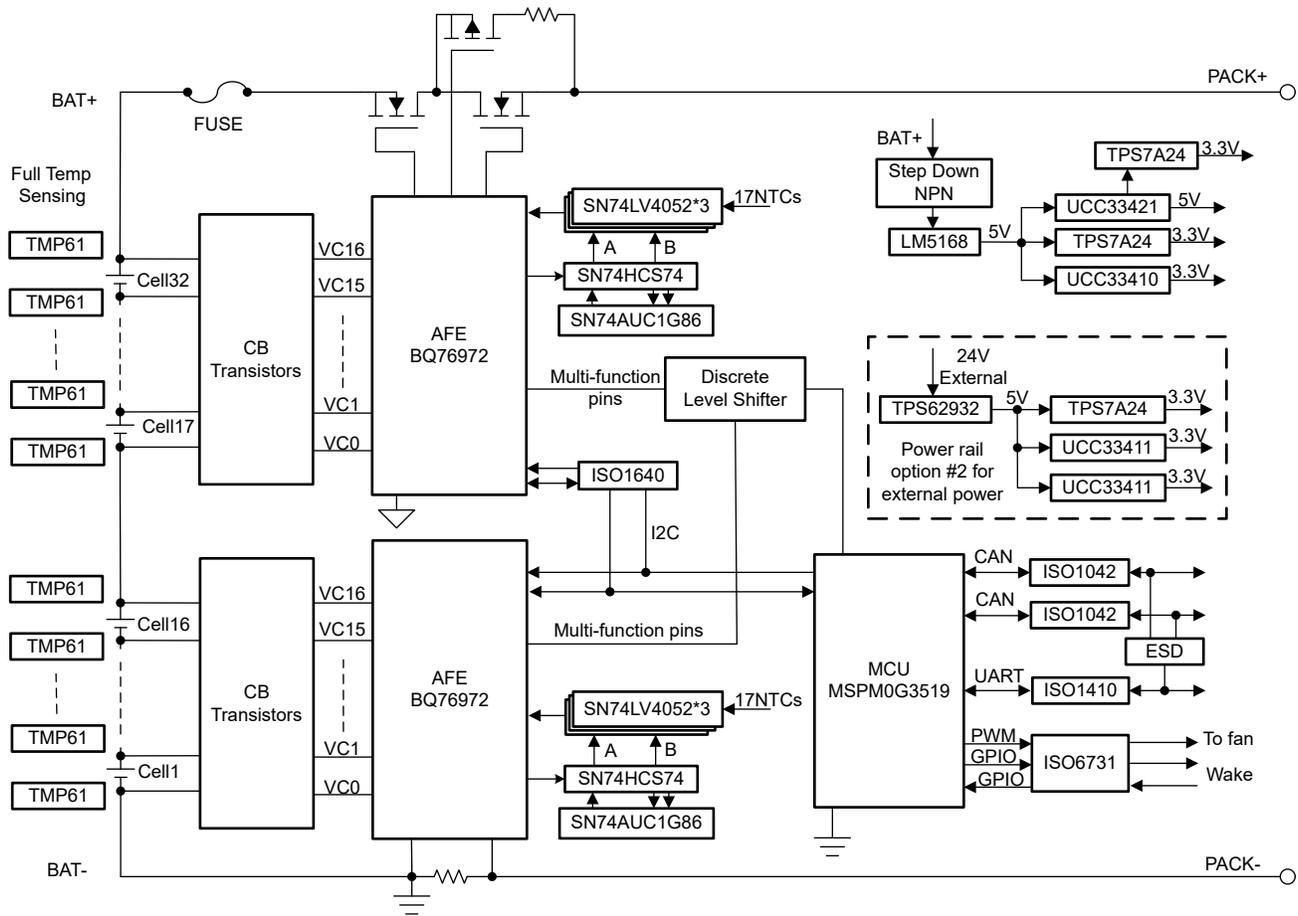


図 2-1. TIDA-010247 のブロック図

このデザインでは、テキサス・インスツルメンツの高精度バッテリー モニタおよびプロテクタである BQ769x2 デバイスを 2 つスタックして使用し、最大 32s バッテリー セルの電圧、パック電流、温度データを監視し、COV、CUV、OT、OCD、OCC、SCD などの異常な状況からバッテリー パックを保護します。BQ769x2 ファミリーには、以下の 3 つのデバイスがあります。BQ76942 は 3s~10s のアプリケーション、BQ769142 は最大 14s のアプリケーション、BQ76952 は最大 16s のアプリケーションに対応し、セル電圧のより高い測定精度を実現する BQ76972 は最大 16s のセルにも対応します。これらはピン互換デバイスであるため、限られた数の部品変更だけで、異なるバッテリー セル アプリケーションに合わせた設計の更新が容易です。このデザインでは、テストに BQ76972 を使用しました。

低消費電力の MSPM0 MCU MSPM0G3519 があり、両方の BQ76972 デバイスと通信し、すべてのシステム制御ロジックを処理して、要求された情報をすべてシステム側にアップロードします。上位の BQ76972 デバイスが上位のバッテリー グループをグラウンドとして基準にしており、これが MCU のグラウンドとは異なるため、MCU と上位の BQ76972 デバイス間の通信には絶縁が必要です。ISO164x は、安定した絶縁 I2C 通信をサポートする、ホットスワップ可能、低消費電力の双方向絶縁型 I2C インターフェイスです。

このデザインには、絶縁型 RS-485 トランシーバ 1 つと絶縁型 CAN トランシーバ 2 つが両方搭載されています。絶縁型 CAN トランシーバ (ISO1042) は、サイド 1 で 1.8V、2.5V、3.3V、5V の電源、サイド 2 で 5V の電源で動作します。ISO1042 デバイスは絶縁耐圧が 5000V_{RMS} で、サージテスト電圧がそれぞれ 6kV_{PK} と 10kV_{PK} の基本絶縁型と強化絶縁型があります。ISO1410 は、絶縁型半二重 RS-485 トランシーバで、1.8V、2.5V、3.3V、5V の制御ロジックとのインターフェイスに対応しています。

このデザインでは、このような絶縁型デバイスに電力を供給するために、プリレギュレータとして、低 I_Q の 120V 入力、0.3A、超低 I_Q 同期整流降圧型 DC/DC コンバータ LM5168 を使用しています。UCC334xx(-Q1) ファミリーは、高効率で低放射の絶縁型 DC/DC コンバータを統合しています。UCC334x0 は、最低限の受動部品で完全に機能する DC/DC パワー モジュールを構築でき、低プロファイルで、幅広い動作温度範囲にわたって、 $3kV_{RMS}$ の基本絶縁バリアを介して最大 1.5W の電力を供給できます。また、UCC334x1-Q1 は、同じ電力で $5kV_{RMS}$ の強化絶縁を実現しています。

正の温度係数を持つ $\pm 1\%$ の $10k\Omega$ リニア サーミスタ TMP61 を使用してセル温度を監視し、BQ76972 デバイスで測定します。

2.2 設計上の考慮事項

2.2.1 異なる使用事例におけるデザイン構成

本製品は、さまざまな ESS シナリオで使用できるように設計されています。このデザインは、低電圧 ESS 用の FET 制御 BMU、または高電圧 ESS 用の CAN スタッキングを使用したスタッカブル BMU に構成できます。図 2-2 に、低電圧 ESS の構成例を示します。

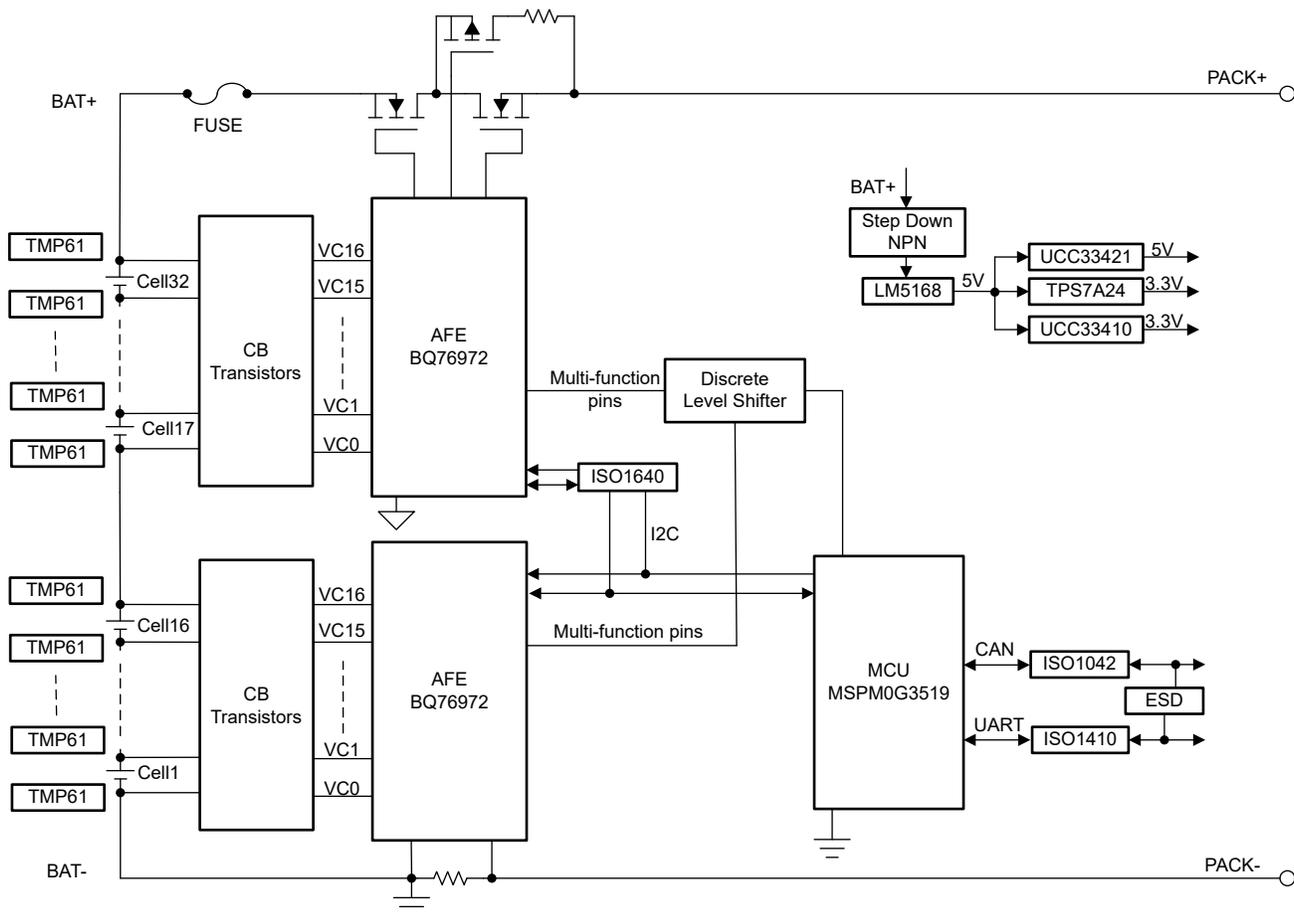


図 2-2. 低電圧 ESS の構成

この構成では、電源レール #2 が削除され、補助電源入力としてバッテリー電圧が使用されます。低電圧 ESS は通常、すべてのセル温度を測定する必要はなく、FET 制御やアラーム出力用の多機能ピンをいくつか必要とするため、サーミスタマルチプレクサ回路は削除されます。サーミスタの数は、事例ごとに変更できます。シングルパック アプリケーションでは CAN スタッキングが必要ないため、ISO6731 は削除されます。2 つの BQ76972 デバイスをスタッキングすることで、最大 32s のバッテリー パックをサポートできます。また BQ76972 を 1 つ取り外すことで、16s バッテリーパックにも対応可能です。図 2-3 に、高電圧 ESS の構成例を示します。

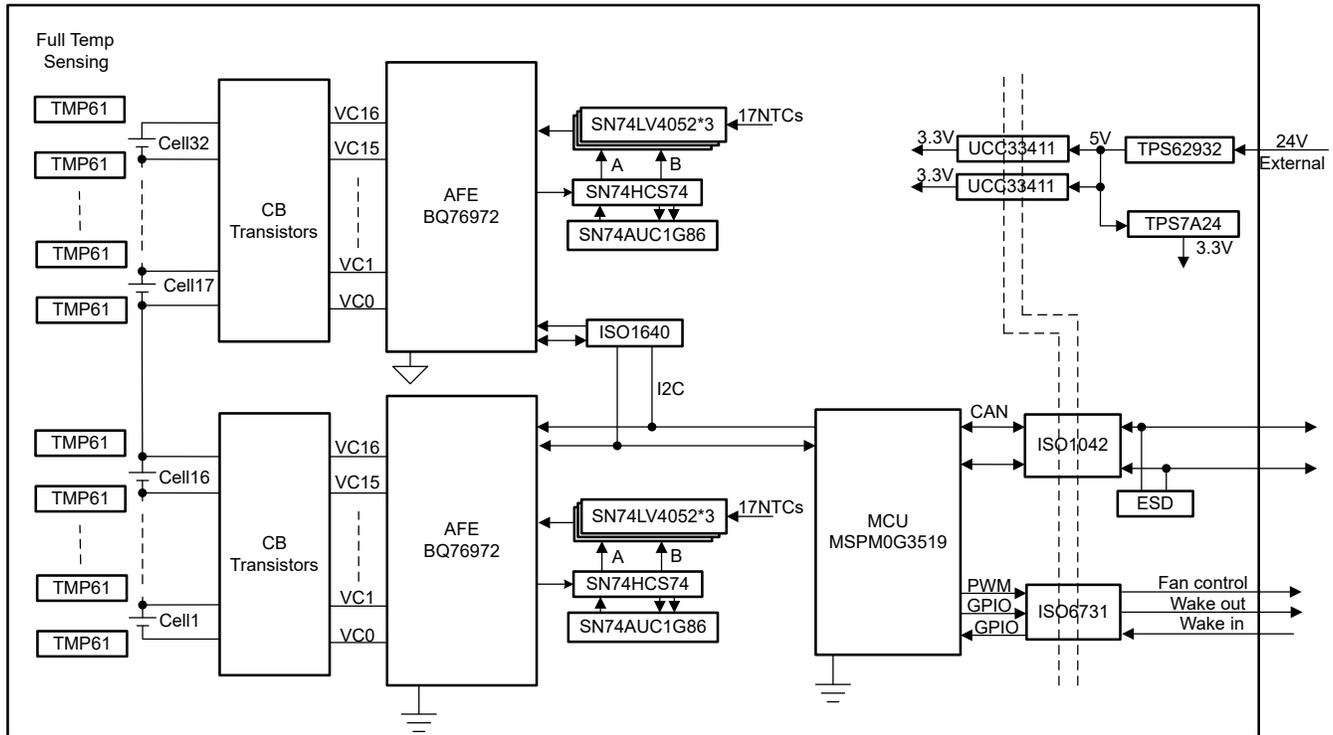


図 2-3. 高電圧 ESS の構成

高電圧 ESS では、各 BMU は外部補助電源から電力供給され、保護 FET はバッテリー制御ユニット (BCU) によって制御されます。この構成は、高電圧 ESS 用の一般的な 32s スタックアップ BMU を示しています。このデザインは、CAN インターフェイスによるスタッキングが可能で、空冷式 ESS アプリケーション向けにファン制御信号も提供します。

2.2.2 補助電源方式

通常モードと出荷モードにおける消費電流の低減と優れた熱性能の要求を満たすために、このデザインでは高電圧 ESS と低電圧 ESS の 2 種類の補助電源方式を採用しています。図 2-4 に、低電圧 ESS の方式を示します。

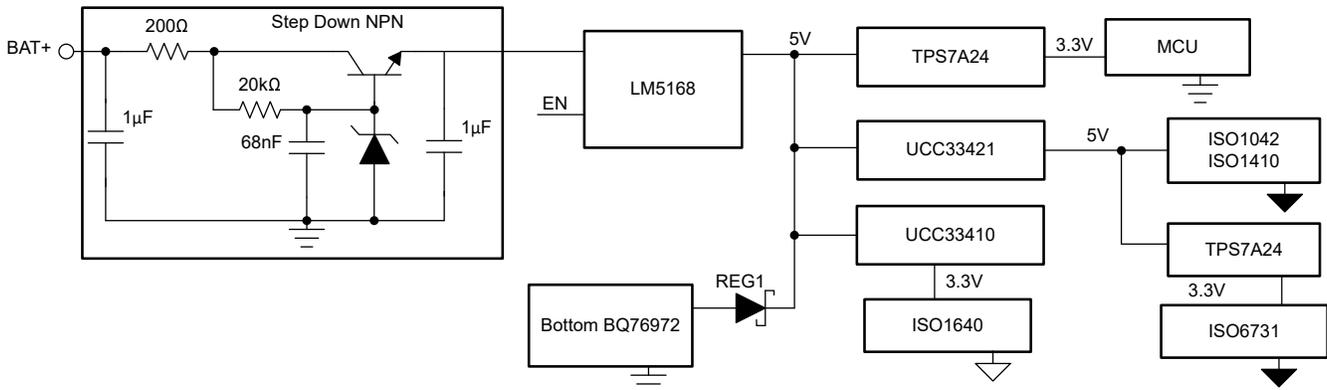


図 2-4. 低電圧 ESS の補助電源方式

低電圧 ESS の電源方式には、120V 入力、0.3A の超低 I_Q 同期整流降圧型 DC/DC コンバータ LM5168P と低 I_Q の 0.3A LDO TPS7A25 を主電源として使用します。システムが通常モードで動作する際、システム側で通常の CAN または RS-485 通信により数百 mA を必要としますが、LDO のみを使用する場合に比べて、優れた効率性と熱性能を実現します。32s バッテリーパックの電圧が 120V を超える可能性があるため、DC/DC コンバータの前にディスクリート降圧回路を追加しています。

システムで深刻なセルの低電圧が発生し、出荷モードに移行する必要がある場合、MCU は I2C コマンドまたは RST_SHUT ピンを介して両方の BQ76972 デバイスがシャットダウンモードに移行するように構成し、EN ピンを介して LM5168P の出力をオフにします。これにより、システムは超低消費電流モードに構成されます。このデザインは、チャージャ接続とシステム接続の両方に対応したウェークアップ機能をサポートしています。どちらの方法でも、下位の BQ76972 デバイスがウェークアップし、通常の 3.3V レギュレータ REG1 が有効になり、その後、MCU に電源が供給されて、EN ピンを介して LM5168P が有効になります。

32s のバッテリーシステムに対応するため、2 つの BQ76972 デバイスをスタッキングしてセルの電圧と温度を監視します。バッテリー寿命を延ばすには、2 つのスタックグループ間の不均衡を避けることが重要です。バッテリーセルの電圧を均等に保つためにはセル バランシングが有用ですが、最善の方法は、2 つのグループ間で負荷ギャップが大きくなりすぎないようにすることです。このデザインでは、絶縁型 I2C インターフェイス ISO1640 が MCU と上位の BQ76972 デバイス間の通信に使用されています。ISO1640 の VCC1 と VCC2 間の供給電流ギャップが小さいことは、システムにとって有益です。

低電圧 ESS の場合、このデザインではコスト最適化された基本絶縁型パワーモジュール UCC33410 を使用して ISO1640 に電力を供給し、2 つのスタックグループ間の不均衡を回避します。図 2-5 に、高電圧 ESS の電源レールを示します。

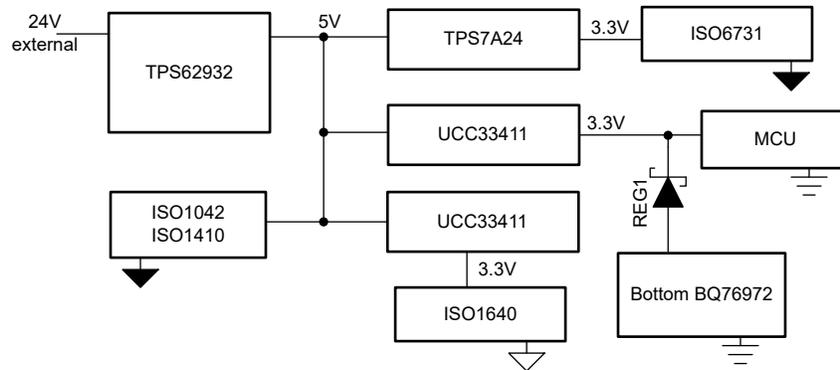


図 2-5. 高電圧 ESS の補助電源方式

低電圧 ESS とは異なり、通常は外部プリレギュレータが搭載されており、グリッド電圧を 24V DC 電圧に変換してすべてのサブシステムに電力を供給します。また、安全性に関する考慮事項から、低電圧 ESS よりも絶縁設計が厳格です。このデザインでは、沿面距離 8mm の強化絶縁設計を考慮しているため、適切な保護グランディングを備えた最大 1500V のシステムで使用可能です。

2.2.3 ハイサイド N チャネル MOSFET

このデザインは、ハイサイド N チャネル MOSFET アーキテクチャをサポートしており、MOSFET を駆動するために上位の BQ76972 チャージポンプを使用しています。上位の BQ76972 は、セル電圧測定用に最下位スタックの最上部を参照しており、上位の BQ76972 デバイスが DSG MOSFET をオフにすると、上位の BQ76972 デバイスの DSG ピンの電圧は最下位スタックの電圧となります。この電圧は高すぎて DSG MOSFET を完全にオフにすることができません。このリファレンスデザインでは、DSG MOSFET が完全かつ迅速にオフになるように、いくつかのディスクリート部品を追加しています。

DSG MOSFET をオフにする必要がある場合、MCU または下位の BQ76972 デバイスが Q65 をオンにします。DSG MOSFET の V_{GS} を放電するために、P チャネル MOSFET Q54 がオンになります。上位の BQ76972 は、TOP_DSG を TOP_LD に駆動して Q64 をオフにし、Dri_Test を接地して DSG MOSFET を完全にオフにします。DSG MOSFET がオフのとき、Q65 は消費電力を節約するためにオフにすることができます。システムが DSG MOSFET をオンにする必要がある場合、まず Q65 がオフであることを確認し、その後、チャージポンプ電圧で TOP_DSG を駆動します。Q64 がオンになり、DSG MOSFET の V_{GS} を充電します。

2.2.4 スタックされた AFE の通信

16s バッテリセルシステムまたはそれ以上に対応するには、2 つの BQ769x2 デバイスをカスケード接続し、最大 32s の バッテリセルを監視できます。このデザインでは、2 つの BQ76972 デバイスをテストし、最大 32s の バッテリセルを監視します。下位の BQ76972 は下部の 16s バッテリセルを監視し、上位の BQ76972 は上部の 16s バッテリセルを監視します。そのため、下位の BQ76972 は BAT- および MCU と同じグランドを共有し、上位の BQ76972 は 16s スタック電圧を基準にしています。上位の BQ76972 デバイスと通信する際には絶縁が必要で、この場合はディスクリートレベルシフタを使用することができます。このデザインでは、I2C アイソレータ ISO164x を使用して、最大 400kHz の I2C 通信レートと低消費電力を実現しています。ALERT、RST_SHUT、DFETOFF、CFETOFF などの他の信号は頻繁に動作しないため、ディスクリートレベルシフタを使用しても問題ありません。MCU はコマンドを発行し、下位の BQ76972 から電圧、電流、温度データを直接読み取ります。上位の BQ76972 と通信する際は、ISO164x を介してデータを読み取ります。

上部 16s バッテリセルのフォルトについては、上位 BQ76972 がフォルトを検出し、MOSFET を直接オフにします。ALERT またはステータスレジスタの読み取りによって MCU に通知され、Q65 がオンになり、DSG MOSFET が完全にオフになっていることを確認できます。下部 16s バッテリセルのフォルトと電流フォルトについては、下位 BQ76972 が検出し、上位 BQ76972 に通知して MOSFET をオフにします。COV、CUV、OT、UT、OCD1、OCD2 などの低速保護については、フォルトがトリガされた際に MCU に警告を送信し、その後 MCU が MOSFET をオフにするコマンドを発行します。一方、通常は μs 単位の遅延時間が必要な短絡保護の場合、MCU ファームウェアを使用した保護では処理速度が十分ではありません。このデザインではディスクリート回路を追加し、下位の BQ76972 デバイスが上位の BQ76972 デバイスを介して MOSFET を直接制御できるようにすることで、MCU ファームウェアに起因する保護遅延を回避します。

2.2.5 サーミスタ マルチプレクサ

各 BQ76972 は、外部サーミスタをサポートできる 9 つのピンを備えています。これらのピンのほとんどは、ホストプロセッサへのアラーム割り込みや FET ターンオフ用のハードウェアピン制御など、システムで必要とされる他の機能にも対応できます。アプリケーションで BQ76972 がネイティブでサポートできるよりも多くのサーミスタのサポートを必要とする場合、[図 2-6](#) に示すように、追加のマルチプレクサ回路を組み込むことで対応できます。

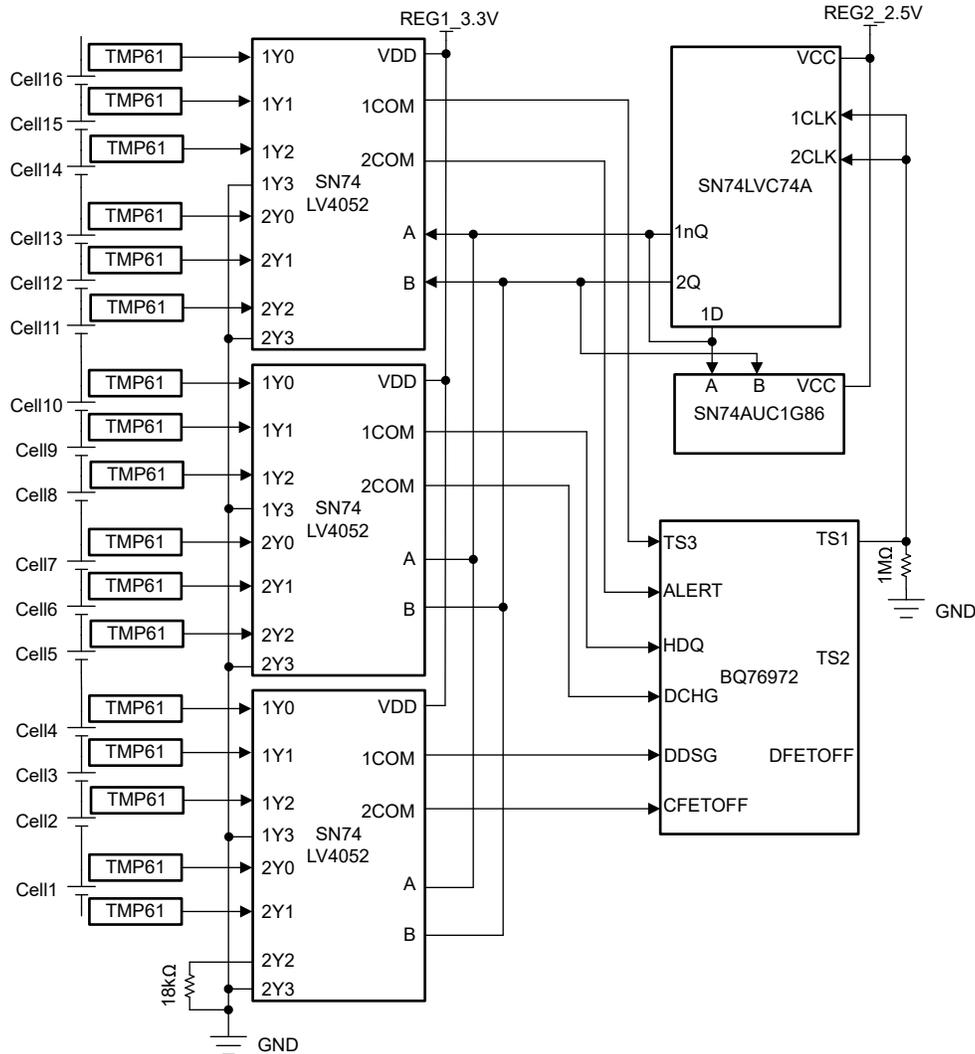


図 2-6. サーミスタ マルチプレクサのブロック図

通常、高電圧 ESS のみが 1 つの BQ76972 に対して 9 つ以上のサーミスタ測定を必要とします。また、これらのピンを他の機能用に構成する必要がないため、このデザインでは、9 つのピンのすべてをサーミスタ入力として構成した場合のサーミスタ マルチプレクサの実装のみを示しています。このデザインでは、1 つの BQ76972 で合計 17 のサーミスタが測定されます。設計者が一部のピンを他の用途に確保したい場合、多くのバリエーションが考えられます。これらの回路は、このセクションの残りの部分で説明されている基本的な原理に基づいて変更できます。

図 2-7 は、通常モードの連続繰り返しループを使用して BQ76972 ADC 測定が行われる仕組みを示しています。デバイスが各測定セットを完了すると、直ちに新しい測定セットが開始されます。各測定ループ (ADCSCAN) には、最大 21 の測定スロットが含まれます。 t_{meas} スロット時間のデフォルトは 3ms ですが、[FASTADC] ビットを設定することで変換分解能が低下し、その時間を 1.5ms に短縮することができます。1 回の ADCSCAN には、31.5ms (FASTADC = 1) または 63ms (FASTADC = 0) かかります。

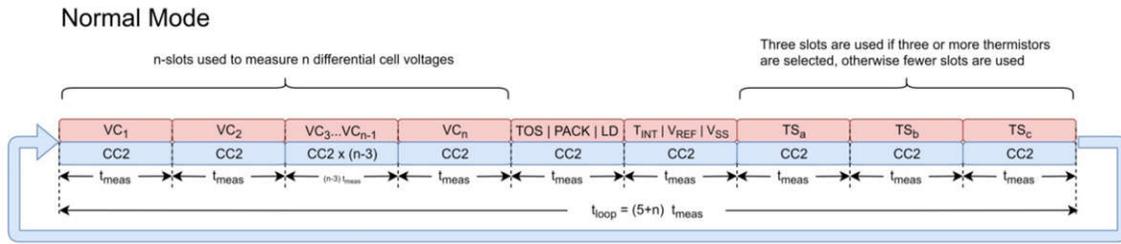


図 2-7. BQ76972 の通常モード測定ループ

このデザインでは 9 つのピンをサーミスタ入力として構成しているため、9 ピンの測定には 3 回の ADCSCAN が必要であり、これを FULLSCAN と呼びます。FULLSCAN の 1 サイクル期間は、94.5ms (FASTADC = 1) または 189ms (FASTADC = 0) です。このデザインでは、4:1 マルチプレクサを使用して 17 のサーミスタを測定するため、1 回の全温度センシング サイクル (FULLTEMP) には 378ms (FASTADC = 1) または 756ms (FASTADC = 1) かかります。技術記事『[バッテリー監視システムの電圧測定精度を改善する方法](#)』も参照してください。

MUX を変更するタイミングは、変更が測定の途中で行なわれた場合に測定データが破損しないように、BQ76972 の通常の測定ループと適切に調整する必要があります。このデザインでは、[図 2-6](#) に示すように、MUX 変更のタイミングを自動的に制御する手法が採用されています。TS1 ピンは、ダミーの 1MΩ 抵抗と組み合わせて使用され、0~3 をカウントする外部バイナリ カウンタ用のクロック信号を生成します。このカウントによりマルチプレクサが制御され、各 MUX で 3 つのサーミスタと 1 つのグラウンドを 6 つのピンのいずれかに切り替えることで、最大 18 のサーミスタをサポートします。グラウンドチャンネルはマルチプレクサ回路の診断に使用されます。つまり、1 つのピンで 4 回の測定ごとにグラウンドが検出される場合、マルチプレクサは正常に動作していることとなります。18 のチャンネルのうちの 1 つは、温度測定キャリブレーション用に高精度の固定抵抗に接続されています。

9 つのピンは、CFETOFF、DFETOFF、ALERT、TS1、TS2、TS3、HDQ、DCHG、DDSG の順番で測定されますが、BQ76972 はサーミスタ入力として構成されているピンのみを測定します。TS1 はクロック入力として使用されるため、TS2 は実際のサーミスタとしては使用されません。これは、TS2 は TS1 ピンの直後に測定されるため、測定に影響を及ぼす可能性がある MUX のセトリング過渡を回避するためです。

BQ76972 のピン温度は 3 つのサーミスタと 1 つのグラウンドの間で変動するため、サーミスタ関連の温度保護はホスト マイクロコントローラを介して実装されます。

このデザインでは、より正確な温度測定のために、線形正温度係数 (PTC) を持つシリコンリニア サーミスタ TMP61 が使用されています。単なる抵抗デバイスである NTC とは異なり、TMP61 の抵抗はデバイスを流れる電流の影響を受け、その抵抗値は温度に応じて変化します。TMP61 は、全温度範囲にわたって良好な線形特性を示します。そのため、多くのルックアップ テーブル メモリを必要としない簡単な方法で抵抗から温度に変換できます。従来の NTC に関連する線形化回路または中間点較正は、このデバイスでは不要です。全温度範囲にわたって抵抗値が線形的に変化するため、本デバイスは高い動作温度でも感度を維持できます。『[低コストの TMP6x リニア サーミスタで温度範囲全域にわたって ±1°C 精度以上を達成する方法](#)』では、TMP61 で最も高い精度を達成する方法を説明しています。

2.2.6 CAN スタッキング

CAN インターフェイスは、セル数が多いシステム向けにバッテリー パックをスタックするため、BMU 間の通信に使用できます。ただし、デフォルトの BMU CAN ノード ID が同じであるため、CAN インターフェイスには異なる ID をアドレス指定する必要があります。[図 2-8](#) に、ハードワイヤ ウェークアップ CAN 自動アドレスを使用したデザインを示します。

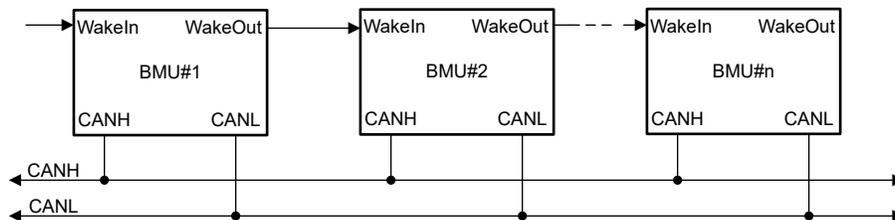


図 2-8. CAN バス スタッキング のブロック図

BMU はカスケード接続され、1 つずつ ウェークアップされます。すべての BMU には、起動用のウェーク入力信号と、次の BMU の起動用のウェーク出力信号があります。初期の CAN ノード ID は、ホスト マイクロコントローラによって定義されます。BMU は、ウェークアップが必要なタイミングを監視するために CAN フレームを継続的に監視し、データフィールドの ID をそのまま使用して ID+1 の CAN フレームを CAN BUS に送信し、GPIO を介してウェーク出力信号を送信します。図 2-9 に、ウェーク信号パターンがタイミングを満たし、より堅牢な設計を実現する方法を示しています。

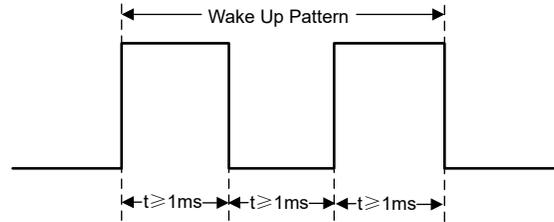


図 2-9. ウェークアップ パターン

2.3 主な使用製品

2.3.1 BQ76972

テキサス・インスツルメンツの BQ76972 は、3 直列～16 直列のリチウムイオン、リチウムポリマ、LiFePO4 の各バッテリーパックに適した、高集積、高精度のバッテリー モニタおよびプロテクタです。このデバイスには、高精度の監視システム、高度に構成可能な保護サブシステムが搭載されており、自律制御またはホスト制御のセル バランシングをサポートしています。ハイサイド チャージ ポンプ NFET ドライバ、外部システム用のプログラム可能なデュアル LDO、400kHz I2C、SPI、HDQ 1 線式規格をサポートするホスト通信ペリフェラルも統合されています。BQ76972 は、48 ピンの TQFP パッケージで供給されます。

2.3.2 MSPM0G3519

MSPM0G351x 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、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、コストの最適化と設計のフレキシビリティの両方を実現しています。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。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もので、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。MSPM0G351x MCU は、広範囲にわたるハードウェアおよびソフトウェアのエコシステムによってサポートされており、リファレンス デザインやコード サンプルを使って設計をすぐに開始できます。

2.3.3 UCC334xx

UCC334xx(-Q1) ファミリーは、高効率で低放射の絶縁型 DC/DC コンバータを統合しています。UCC334x0 は、最低限の受動部品で完全に機能する DC/DC パワー モジュールを構築でき、低プロファイルで、幅広い動作温度範囲にわたって、3kV_{RMS} の基本絶縁バリアを介して最大 1.5W の電力を供給できます。また、UCC334x1-Q1 は、同じ電力で 5kV_{RMS} の強化絶縁を実現しています。使いやすさ、低プロファイル、高電力密度を特長としており、サイズが制限され、コストが重視されるシステムにおいて、かさばる高価なトランススペースの設計を簡単に置き換えることができます。内蔵の DC/DC コンバータは、スイッチ モード動作および独自の回路技法を使用して、あらゆる負荷条件において電力損失を低減し効率を高めます。特殊な制御メカニズム、クロック方式、オンチップトランスの使用により、高効率と低放射を実現しています。

2.3.4 LM5168

同期整流降圧コンバータ LM5169 および LM5168 は、最小限の外部サージ抑制部品で、幅広い入力電圧範囲のレギュレーションを行えるよう設計されています。制御可能な最短のオン時間は 50ns で、大きな降圧率を使用できるため、48V 公称入力から低電圧レールへの直接降圧変換が可能になり、システムの複雑性と設計のコストを下げることができます。LM516x は最低 6V の入力電圧ディップ時にも動作し、必要に応じて 100% に近いデューティサイクルで動作するため、幅広い入力電源電圧範囲の産業用および多セルのバッテリーパック機器に理想的です。ハイサイドおよびローサイドのパワー MOSFET を内蔵しているため、LM5169 は最大 0.65A、LM5168 は最大 0.3A の出力電流を供給します。コンスタント オン時間 (COT) 制御アーキテクチャにより、スイッチング周波数はほぼ一定で、負荷およびライン過渡応答が非常に優れています。LM516x は、FPWM モードまたは自動モードのバージョンが利用できます。FPWM モードにより、負荷範囲の全体にわたって強制連続導通モード (CCM) で動作し、絶縁型 Fly-Buck コンバータ アプリケーションをサポートします。自動モードにより、非常に低い I_Q とダイオード エミュレーション モード動作が可能になり、軽負荷時に高効率です。

2.3.5 ISO1640

ISO1640、ISO1641、ISO1642、ISO1643、および ISO1644 (ISO164x) の各デバイスは、I2C インターフェイスと互換性のある、ホットスワップ可能、低消費電力の双方向アイソレータです。ISO164x は 16-DW パッケージで 5000V_{RMS}、8-D パッケージで 3000V_{RMS} の UL 1577 絶縁定格をサポートしています。この低排出デバイスの各 I2C 絶縁チャンネルは、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オープンドレイン出力を備えています。ISO1642 と ISO1643 は 2 つの単方向 CMOS 絶縁チャンネルを統合しており、ISO1644 は 3 つの単方向 CMOS 絶縁チャンネルを統合しています。これらのチャンネルは、静的 GPIO の絶縁やシリアル ペリフェラル インターフェイス (SPI) バスの絶縁に使用できます。このファミリーには、VDE、UL、CSA、TUV、CQC によって認定された基本絶縁型と強化絶縁型のデバイスが含まれています。ISO1640、ISO1642、ISO1643、および ISO1644 にはクロックラインとデータライン用の 2 つの絶縁型双方向チャンネルがあり、ISO1641 には双方向のデータチャンネルと単方向のクロックチャンネルがあります。ISO164x ファミリーには、双方向チャンネルをサポートするために必要なロジックが組み込まれており、フォトカプラ ベースの設計と比べて、設計の大幅な簡素化とフットプリントの小型化を実現します。

2.3.6 ISO1042

ISO1042 デバイスは、ISO11898-2 (2016) 規格に準拠したガルバニック絶縁 CAN (コントローラ エリア ネットワーク) トランシーバです。±70V_{DC} バスフォルト保護を搭載し、±30V の同相電圧範囲に対応しています。CAN FD モードで最高 5Mbps のデータレートに対応しており、Classic CAN よりはるかに高速にペイロードを伝送できます。耐圧 5000V_{RMS} の二酸化ケイ素 (SiO₂) 絶縁バリアを採用しており、1060V_{RMS} の動作電圧を実現しています。電磁環境適合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、放射への適合が可能になりました。絶縁型電源と組み合わせて使用すると、高電圧に対して保護するとともに、バスからのノイズ電流がローカル グランドに入り込むことを防止できます。ISO1042 デバイスには基本絶縁型と強化絶縁型があります。

2.3.7 ISO1410

ISO14xx デバイスは、TIA/EIA RS-485 および RS-422 アプリケーション用のガルバニック絶縁差動ライントランシーバです。これらのトランシーバはノイズ耐性があり、過酷な産業用環境で動作するよう設計されています。これらのデバイスのバス用ピンは、高レベルの IEC 静電放電 (ESD) および IEC 電気的高速過渡 (EFT) 事象に耐えられるので、システムレベルの保護のためにバス上に部品を追加する必要はありません。デバイスには基本絶縁型と強化絶縁型があります。

2.3.8 TPS7A24

TPS7A24 低ドロップアウト (LDO) リニア電圧レギュレータは、2.4V~18V の入力電圧と、非常に低い静止電流 (I_Q) が特長です。このような特長があるため、ますます厳しくなるエネルギー要件に対して最新の家電製品を適合させるのに有効であり、ポータブル電源設計におけるバッテリー寿命の延長が実現できます。TPS7A24 には、固定バージョンと調整可能バージョンがあります。より高い柔軟性やより高い出力電圧が必要な場合は、可変バージョンでは帰還抵抗を使用して出力電圧を 1.24V~17.64V に設定できます。どちらのバージョンも出力レギュレーション精度が 1% で、ほとんどのマイクロコントローラ (MCU) 基準電圧に対して高精度なレギュレーションを提供します。TPS7A24 LDO は、200mA の電流で最大ドロップアウト電圧が 340mV 未満なので、標準のリニアレギュレータよりも効率的に動作します。この最大ドロップアウト電圧により、5.4V の入力電圧 (V_{IN}) から 5.0V の出力電圧 (V_{OUT}) で 92.5% の効率を実現できます。パワー グッド (PG) インジケータを使用して、電源が正常になるまで MCU をリセット状態に保持したり、シーケンシングを実行したりできます。PG ピンはオープンドレイン出力なので、このピンは V_{OUT} 以外のレールによる監視のため、簡単にレベルシフトが可能です。電流制限およびサーマルシャットダウン機能が組み込まれているため、負荷の短絡やフォルト時にもレギュレータが保護されます。より高い出力電流が必要な場合は、TPS7A25 または TPS7A26 を検討してください。

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に便利な手法、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、自己発熱の影響を最小限に抑えることができます。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、抵抗公差の偏差が小さい、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、時間と、プロセッサ内のメモリを削減できます。TMP61 は現在、0402 フットプリント互換の X1SON パッケージ、0603 フットプリント互換の 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。

2.3.10 TPD2E007

このデバイスは、さまざまなポータブルおよび産業用アプリケーション向けにシステムレベルの ESD 保護を提供するように設計された、過渡電圧サプレッサ (TVS) ベースの静電気放電 (ESD) 保護デバイスです。双方向ダイオードアレイにより、信号の整合性を損なうことなく、AC 結合または負方向のデータ伝送 (オーディオインターフェイス、LVDS、RS-485、RS-232 など) を可能にします。このデバイスは IEC 61000-4-2 (レベル 4) の ESD 保護を上回っており、コネクタの近くに配置された場合、内部 IC に対するシステムレベルの ESD 保護を提供するように設計されています。TPD2E007 は、4 バンプ PicoStar パッケージおよび 3 ピン SOT (DGK) パッケージで提供されます。パッケージ高さわずか 0.15mm (最大) の PicoStar パッケージ (YFM) は、パッケージの高さが特に重視される超薄スペースアプリケーションに最適です。PicoStar パッケージは、組込み PCB ボードアプリケーションや表面実装アプリケーションのいずれにも使用できます。業界標準の SOT パッケージは、従来型設計においてシンプルなボードレイアウトオプションを提供します。

3 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

TIDA-010247 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-010247 ボードの接続を示します。

表 3-1. ボードの接続

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
BAT+	BAT+	セル スタックの正極
BAT-	BAT-	セル スタックの負極。電子機器およびセルからの大電流バスの基準として機能します。
PACK+	PACK+	チャージャの正極または負荷の正極
PACK-	PACK-	チャージャの負極または負荷の負極
P1-1	RS-485-A	RS-485 バス I/O ポート, A
P1-2	RS-485-B	RS-485 バス I/O ポート, B
P2-1	CAN1-H	ハイレベル CAN1 BUS
P2-2	CAN1-L	ローレベル CAN1 BUS
P3-1	CAN0-H	ハイレベル CAN0 BUS
P3-2	CAN0-L	ローレベル CAN0 BUS
J1	Cn	(n = 0~16) セル モニタ、バランス、および電子機器の電源接続。上部の 16s セル
J2	Cn	(n = 0~16) セル モニタ、バランス、および電子機器の電源接続。下部の 16s セル
J3-1	SCL MCU	MCU からの I2C 通信用 SCL
J3-2	SDA MCU	MCU からの I2C 通信用 SDA
J4-1	Fan_Control	ファン制御 PWM 信号
J4-3	WakeOut	アドレッシング用 CAN ウェーク出力信号
J4-5	Wakeln	アドレッシング用 CAN ウェーク入力信号
J5-1	24V_EXT	24V 外部電源入力ポート
J12	デバッグ	MSPM0 プログラム コネクタ

3.1 ハードウェア要件

表 3-2 に、テストに使用した機器の概要を示します。

表 3-2. テスト機器の概要

装置	モデルまたは説明
オシロスコープ	Tektronix DPO 2024B
DC 電源	Chroma 62050P-100-100
電子負荷	Chroma 63106
マルチメータ	Agilent 34401A
DC 電源	GW INSTEK GPS-3303C
通信アダプタ	テキサス・インスツルメンツ EV2300 または EV2400
MSPM0 プログラム	XDS110
ESD シミュレータ	NoiseKen ESS-S3011

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 ソフトウェア要件

3.2.1 MSPM0 ソフトウェアの概要

テキサス・インスツルメンツのこのリファレンス デザインを使用するには、MSPM0 開発環境が必要です。このセクションでは、Code Composer Studio™ を MSPM0 SDK で使用する手順を説明します。Arm® Keil® マイクロコントローラ開発キット (MDK) または IAR ソフトウェアを使用して MSPM0 ソフトウェアを開発する場合も、システム構成ツールのインストールが必要です。

ソフトウェアにアクセスするには、次のダウンロード リンクを使用してください。

- **CCS: Code Composer Studio 統合開発環境 (IDE)**
- **MSPM0 SDK: MSPM0 ソフトウェア開発キット (SDK)**
- **SysConfig: システム構成ツール**

詳細な環境セットアップ ガイドについては、『[MSPM0 デザイン フロー ガイド](#)』アプリケーション レポートも参照してください。

MSPM0 SDK と CCS をインストールした後、MSPM0 SDK のソースコードを次の場所から入手してください。
<install_location>\ti\mspm0_sdk_2_03_00_02\examples\nortos\LP_MSPM0G3519\demos\bq769x2_TIDA010247

3.2.1.1 ボードテストに必要なソフトウェアのダウンロードとインストール

1. テキサス・インスツルメンツが提供するリンクから、**MSPM0-SDK**、mspm0_sdk_2_03_00_02 以降のソフトウェアをダウンロードしてインストールします。
2. **CCS**、CCSTheia バージョン 1.5.1 以降用および **CCS** バージョン: 12.8.1 以降用をダウンロードしてインストールします。
3. **SYSCONFIG**、バージョン 1.21.2 以降をダウンロードしてインストールします。この手順はオプションです。Keil MDK または IAR で MSPM0 を開発する場合は、テキサス・インスツルメンツが提供するリンクから、スタンドアロン バージョンの **SYSCONFIG** をインストールする必要があります。CCS で MSPM0 を開発している場合は、**CCS** のインストール時に MSPM0 サポートオプションをクリックします。**SYSCONFIG** は、**CCS** のインストール時に自動的にインストールされます。

インストールが完了したら、**CCS** を開き、プロジェクトをインポートするための新しいワークスペースを作成します。

3.2.1.2 プロジェクトを CCS にインポート

CCS を開き、「Project」→「Import CCS Project」を選択し、MSPM0 SDK から bq769x2_TIDA010247 フォルダを選択します。図 3-1 に、**CCS** の [Import CCS Projects] ウィンドウを示します。プロジェクトを選択し、「Finish」ボタンをクリックして、このプロジェクトをインポートします。

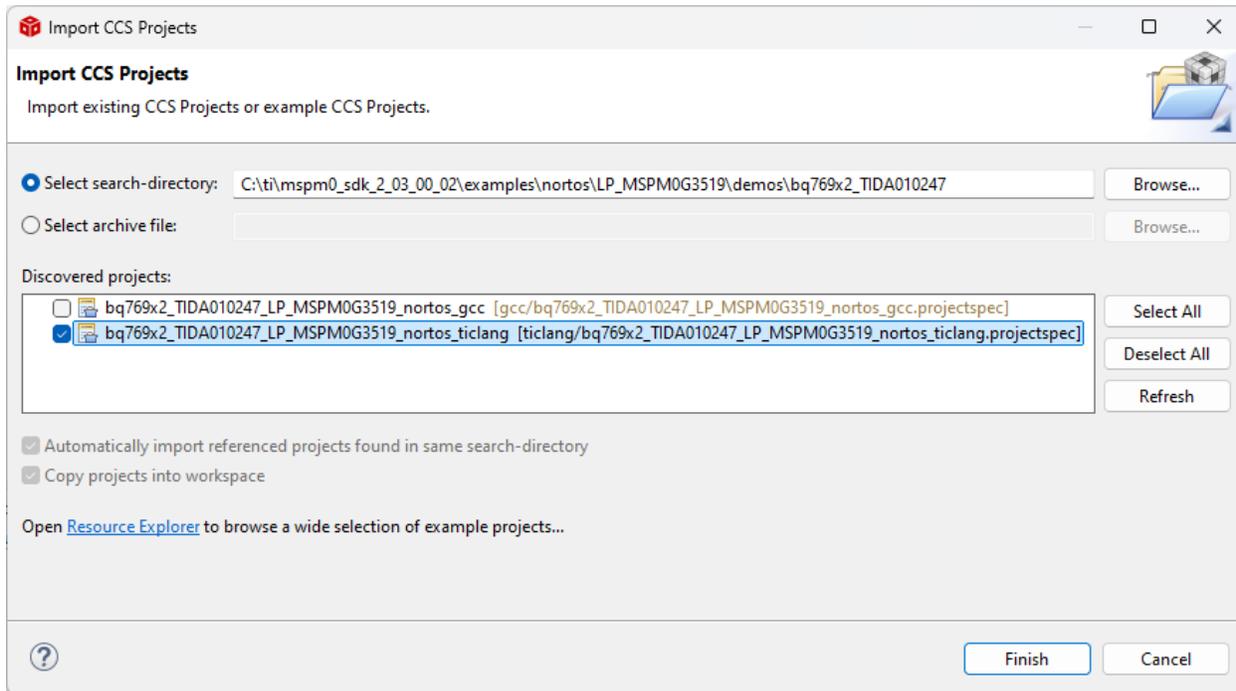


図 3-1. プロジェクトをインポートする

3.2.1.3 プロジェクトのコンパイル

プロジェクト名をクリックするか、プロジェクト `main.c` ファイルを開き、このプロジェクトをアクティブにします。「Build」ボタンをクリックするか、「Project」→「Build Project」メニューを選択します。コンパイルの完了後に `.out` ファイルが生成され、CCS の [Console] ウィンドウに表示されます。図 3-2 は、結果として得られたプロジェクトのビルドを示します。

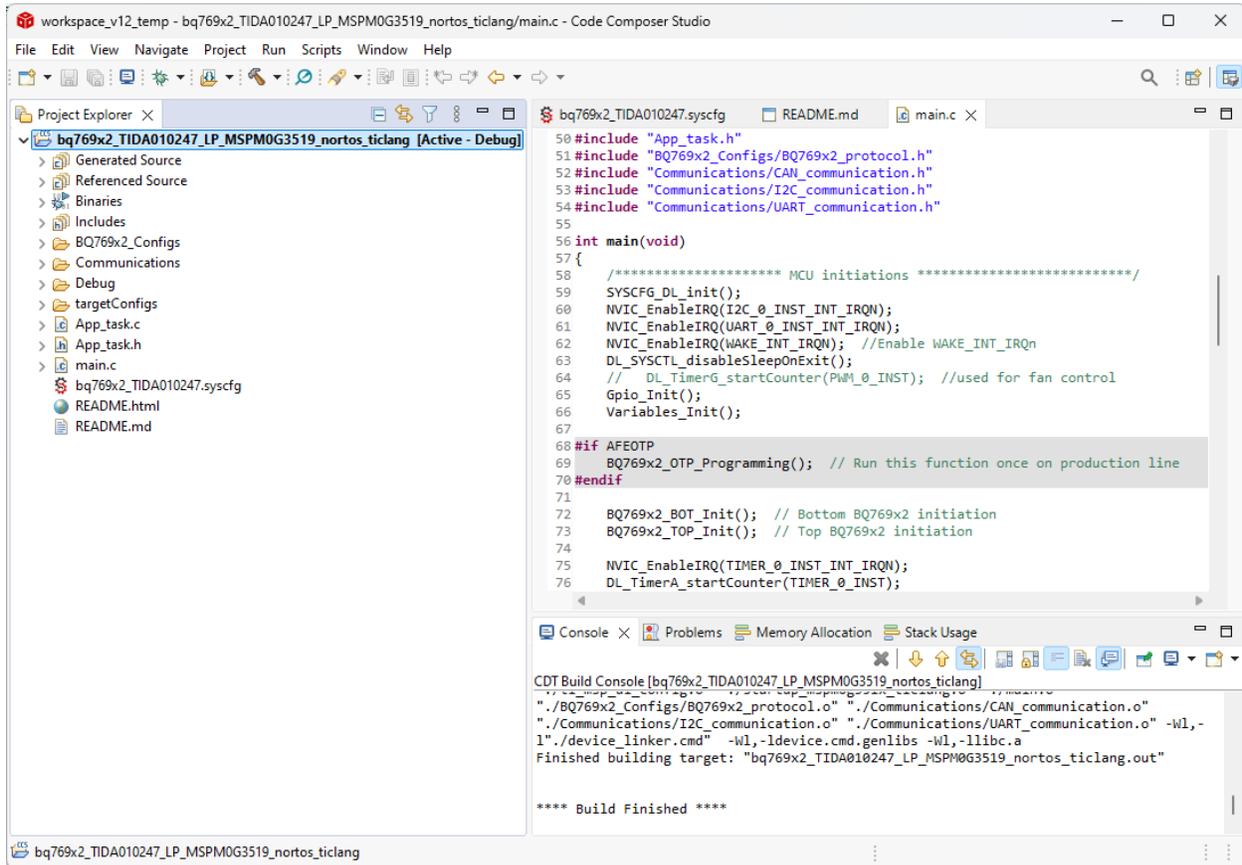


図 3-2. プロジェクトの構築

3.2.1.4 画像のダウンロードと実行

「Run」→「Debug」メニュー オプションをクリックして、CCS でソフトウェアをダウンロードしてデバッグします。図 3-3 に、[Debug] ウィンドウを示します。「Run」ボタンをクリックして、ソフトウェアの実行を開始します。基本的な機能は、BMU_Norma1_Mode(); 関数に実装されています。

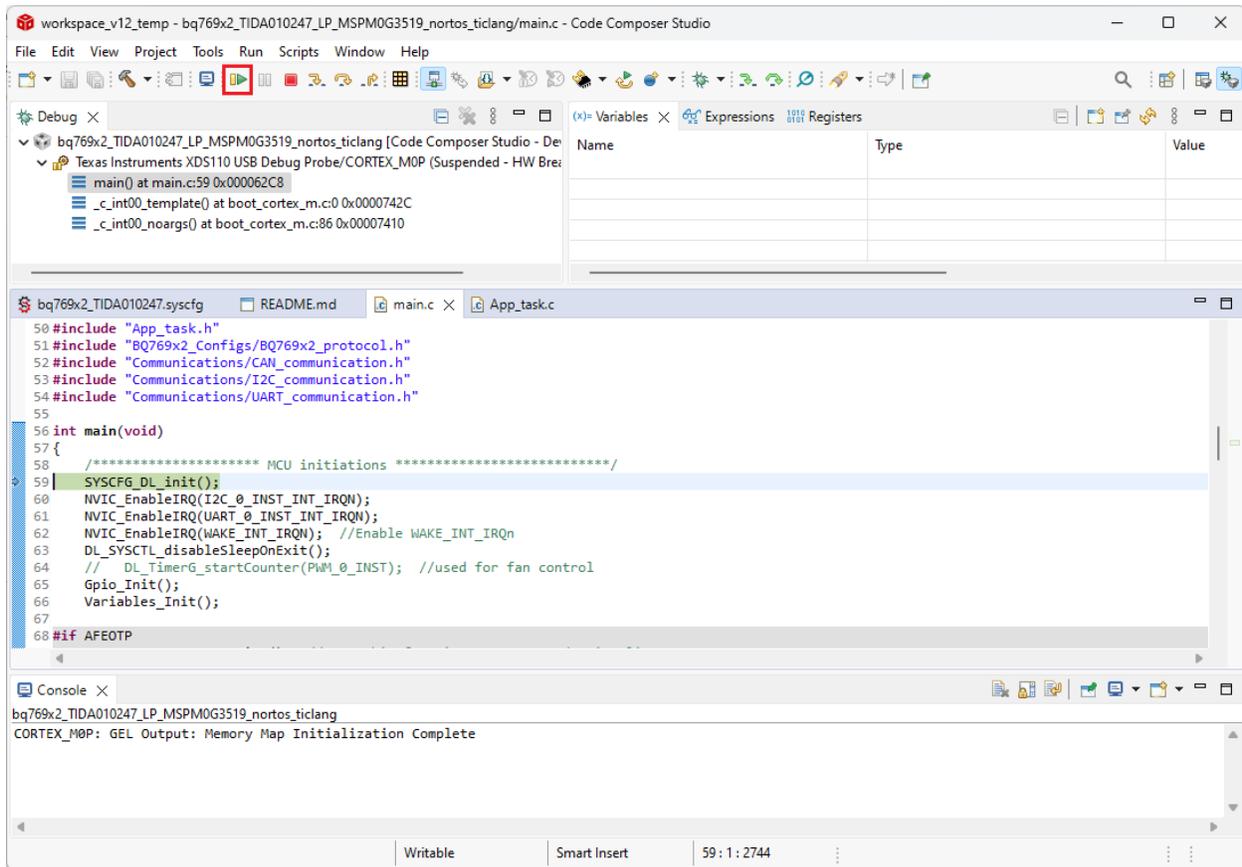


図 3-3. プロジェクトをデバッグする

3.2.2 ソフトウェア関数リスト

このセクションでは、ソフトウェア インターフェイスを、「[Driverlib 関数リスト](#)」と「[アプリケーション関数リスト](#)」の 2 つに分けて説明します。

3.2.2.1 Driverlib 関数リスト

Driverlib 関数は、テキサス・インスツルメンツの driverlib を基にした低レベルのペリフェラルドライバ機能を提供します。

CAN_ID_Init_on_Startup

システム電源が投入された後、CAN id を自動的に初期化します。

シンタックス

```
void CAN_ID_Init_on_Startup(void);
```

パラメータ

Void

戻り値

Void

概要

システム電源が投入され、ペリフェラルが初期化されても、CAN ペリフェラルは直接動作しません。

自動 CAN id 初期化手順は次のとおりです。

1. Host(BCU) が Node#1 wake_in ピンに ウェークアップ パターンを送信します。

CAN_ID_Init_on_Startup (続き)

システム電源が投入された後、CAN id を自動的に初期化します。

- Node#1 は wake_in IO high を受信し、ID コマンド (CAN バス メッセージ上のデータ) を設定した後、Node#1 に属する CANID を設定します。
- Node#1 は、wake_out IO からウェークアップ パターンを送信して Node#2 をウェークアップし、CANID+1 CAN メッセージで Node#2 に ID 設定コマンドを送信します。
- Node#2 はウェークアップ パターンを受信し、ID コマンド (CAN バス メッセージ上のデータ) を設定した後、Node#2 に属する CANID+1 を設定します。
- 他のノードについても同じ手順で自動 CAN ID 設定を完了します。

CAN_Write

パラメータに従って、BQ デバイスのデータを CAN バスに送信します。

シンタックス

```
void CAN_Write (uint32_t CANid, uint8_t BQid, uint8_t cmd, uint32_t length, uint16_t *data);
```

パラメータ

CANid	CAN メッセージ ID
BQid	BQ デバイス ID
cmd	CAN メッセージ コマンド
length	データの長さ
data	CAN を介して送信されるデータ アドレス

戻り値

Void

概要

この関数は、BQ デバイスのデータを CAN バスに送信します。

関数パラメータを順番にまとめてパッケージ化し、CANTxMsgSendPoll 関数に渡します。driverlib レベルの CAN 送信関数 CANTxMsgSendPoll は、データ送信に CPU ポーリングを使用します。

CANprocessCANRxMsg

CAN メッセージ id およびコマンドに従って、受信した CAN メッセージを処理します。

シンタックス

```
void CANprocessCANRxMsg(void);
```

パラメータ

Void

戻り値

Void

概要

- まず、この API は CAN 受信メッセージ FIFO 0 の新しいメッセージフラグ MCAN_IR_RF0N_MASK を確認します。
- CAN 受信 FIFO に新しいメッセージがある場合、そのメッセージを RAM に読み取り、RxFIFOAck を CAN に書き込みます。
- CAN id を uint32_t id 形式に変換します。
- switch-case 関数を使用して、id およびコマンドに応じて CAN メッセージを処理します。

CANprocessCANRxMsg (続き)

CAN メッセージ id およびコマンドに従って、受信した CAN メッセージを処理します。

デモ コードは、電源投入時の初期化段階で CAN id 自動設定機能を実装します。

I2C_WriteReg

I2C ペリフェラル デバイスのレジスタ アドレスとデータに応じて、I2C データを送信します。

シンタックス

```
void I2C_WriteReg(uint8_t reg_addr, uint8_t *reg_data, uint8_t count);
```

パラメータ

reg_addr	デバイスの I2C ペリフェラル レジスタ アドレス
*reg_data	I2C を介して送信されるデータへのポインタ
count	reg_data の長さ

戻り値

Void

概要

1. reg_addr を I2Ctobuf[0] にコピーします。
2. *reg_data の count を &I2Ctobuf[1] にコピーします。
3. I2C FIFO に I2Ctobuf を書き込みます。
4. I2C 転送が完了するのを待機し、I2C 割り込みハンドラで再度 FIFO に書き込みます。
5. 終了する前に I2C TXFIFO をフラッシュします。

ユーザーは、グローバル変数 I2C_TARGET_ADDRESS を変更することで、I2C ペリフェラル デバイスのアドレスを変更できます。

I2C_ReadReg

I2C ペリフェラル デバイスのレジスタ アドレスを読み取ります。

シンタックス

```
void I2C_ReadReg(uint8_t reg_addr, uint8_t *reg_data, uint8_t count);
```

パラメータ

reg_addr	デバイスの I2C ペリフェラル レジスタ アドレス
*reg_data	I2C から読み取られるデータへのポインタ
count	reg_data の長さ

戻り値

Void

概要

この API は、読み取り対象の I2C ペリフェラル デバイスのレジスタ アドレスを送信するために、まず I2C 書き込みを行い、その後 I2C 読み取りを開始します。

1. reg_addr を TXFIFO に書き込み、長さを 1 に設定した状態で、I2C コントローラ転送を開始します。
2. I2C 書き込み後に TXFIFO をフラッシュします。
3. I2C コントローラ転送を開始して、I2C ターゲットからデータを読み取り、読み取るデータの長さを count に設定します。
4. RXFIFO のデータ準備が整うのを待機し、reg_data の情報を読み取り、データの count が読み取られた時点で終了します。

I2C_ReadReg (続き)

I2C ペリフェラル デバイスのレジスタ アドレスを読み取ります。

ユーザーは、グローバル変数 `I2C_TARGET_ADDRESS` を変更することで、I2C ペリフェラル デバイスのアドレスを変更できます。

RS485_Send

UART、RS-485 インターフェイスに BQ デバイス データを送信します。

シンタックス

```
void RS485_Send(uint8_t BQid, uint8_t cmd, uint16_t *data, uint32_t length);
```

パラメータ

BQid	BQ デバイス ID。上部または下部 AFE を示します。
cmd	メッセージコマンド。送信データのタイプを示します。
data	UART、RS-485 を介して送信されるデータへのポインタ
length	データの長さ

戻り値

Void

概要

1. RS485 トランシーバ TX モードを有効にします。
2. BQid、cmd、および data を RS485_data バッファにコピーします。
3. RS485 構造の変数、RS485_STATUS_TX_STARTED を設定します。
4. UART TXFIFO に gRS485.txPacket を書き込みます。
5. UART、RS-485 TX 割り込みを有効にします。
6. UART、RS-485 TXFIFO に割り込みで書き込みます。
7. 転送が完了するのを待機します。
8. gRS485.status を RS485_STATUS_IDLE に設定します。

RS485_Receive

UART、RS-485 インターフェイスからデータを読み取ります。

シンタックス

```
void RS485_Receive(uint8_t *RS485_data, uint32_t RS485_count);
```

パラメータ

RS485_data	RS485 データを保存するためのデータ バッファ
RS485_count	受信データの長さ

戻り値

Void

概要

1. gRS485.status を RS485_STATUS_RX_STARTED に設定します。
2. UART、RS-485 RX 割り込みを有効にします。
3. 割り込みで受信が完了するのを待機します。
4. TX 割り込みを無効にし、gRS485.status を RS485_STATUS_IDLE にリセットします。
5. RS485 データを RS485_data にコピーします。

3.2.2.2 アプリケーション関数リスト

アプリケーション関数は、このデザインのテスト要件によって定義されます。

Temp_Mux_Polling

温度測定値を更新します。

シンタックス

```
void Temp_Mux_Polling(void);
```

パラメータ

Void

戻り値

Void

概要

この関数は、サーミスタ マルチプレクサ回路用に作成されています。この関数を使用する前に、**TMP_MUX_Enabled** シンボルを設定する必要があります。この関数は、温度測定データを読み取る前に、各 AFE の **FULLSCAN** フラグを更新する必要があります。**FULLSCAN** フラグは関数 **BQ769x2_ReadFULLSCAN()** によって更新され、1ms などの短い間隔で実行する必要があります。このデザインでは、例として **main while()** で **FULLSCAN** フラグを読み取ります。温度測定データは、**FULLSCAN** フラグが設定されているときに読み取られ、アラーム ステータスレジスタに書き込むことでこのフラグをクリアします。データは mV 単位で読み取られるため、サーミスタのルックアップ テーブルまたは多項式計算を使用して、電圧を温度に変換する必要があります。

BatteryDataUpdate_32s

セル電圧、パック電流、バッテリーの状態、保護の状態を更新します。

シンタックス

```
void BatteryDataUpdate_32s(void);
```

パラメータ

Void

戻り値

Void

概要

この関数は、32s セルの電圧とパック電流を 100ms ごとに更新します。バッテリーの状態、保護の状態、FET の状態は 500ms ごとに更新されます。32s セルの電圧は、直接コマンドによって順番に読み取られます。タイマー期間を変更すると、データの更新期間も変更されます。

注

このデザインは同じ I2C ペリフェラルを使用しているため、下部 AFE と上部 AFE からのデータを同時に読み取ることはできません。

BQ769x2_OTP_Programming

OTP にて、下部 AFE の I2C アドレスを 0x20 に、REG1 を 3.3V に設定します。

シンタックス

```
void BQ769x2_OTP_Programming();
```

BQ769x2_OTP_Programming (続き)

OTP にて、下部 **AFE** の **I2C** アドレスを **0x20** に、**REG1** を **3.3V** に設定します。

パラメータ

Void

戻り値

Void

概要

この関数は、OTP にて BQ76972 を特定の構成に設定する方法を示します。OTP の前に、BQ76972 の BAT ピンに 10V~12V の電圧を印加する必要があります。この関数は、OTP 書き込みが成功した後に `OTP_write_success_flag` を設定します。また、青色 LED が点滅し、書き込みが成功したことを示します。

Check_Signal_Pattern

WAKEIN 信号パターンを確認します。

シンタックス

```
bool check_signal_pattern();
```

パラメータ

Void

戻り値

 [2-9](#) に示すように、`gWAKEINMCU` で正しいウェーク信号を受信した場合は `true` を返します。

`gWAKEINMCU` で誤ったウェーク信号を受信した場合、`false` を返します。

概要

この関数は、High レベルと Low レベルの電圧持続時間を確認し、CAN アドレッシング機能用のフラグを返します。

BMU_FET_Test

保護 FET のターンオンとターンオフをテストします。

シンタックス

```
void BMU_FET_Test(void);
```

パラメータ

Void

戻り値

Void

概要

この関数は GPIO 割り込みで実行され、テスト目的にのみ使用されます。この関数をテストする前に、`AFE_MOS_TEST` を有効にしてください。外部制御信号を使用して GPIO 割り込みをトリガし、ホスト制御 MOSFET のオン/オフ動作をテストすることができます。PB.23 を例として、立ち上がりエッジをトリガソースとします。

3.2.3 ソフトウェア ワークフロー

ESS アプリケーションでこのデザインを使用する方法を示すサンプルソフトウェアが提供されています。図 3-4 に、ソフトウェアのフローチャートを示します。このソフトウェアを使用する前に、このフローチャートの OTP の例に従い、下部 AFE の I2C アドレスを別の値にプログラムする必要があります。

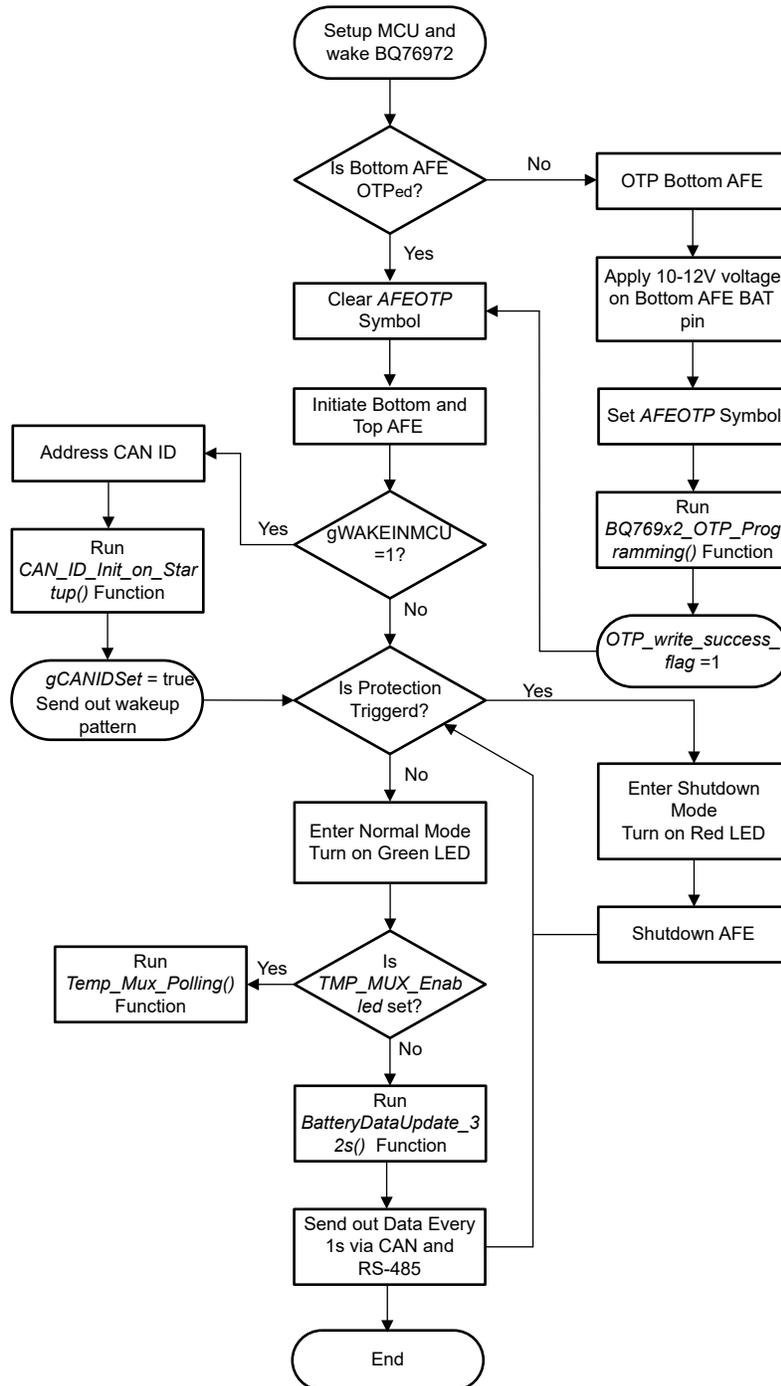


図 3-4. ソフトウェアのフローチャート

3.3 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 32s パック構成で作成されました。このボードは、DC 電源と 2700 μ F 電解コンデンサを並列に接続して、パック全体をシミュレーションした状態でテストされました。パック電圧を分圧し、32s バッテリセルをシミュレートするために、200 Ω の抵抗が 20 個直列に接続されています。

- DC 電源 1 の構成: 96 V、3 A
- DC 電源 2 の構成: 2 チャンネル 48V、0.5A
- 電子負荷の構成: 80V の定電圧 (CV) モード

図 3-5 に、充電プロセスの設定例を示します。

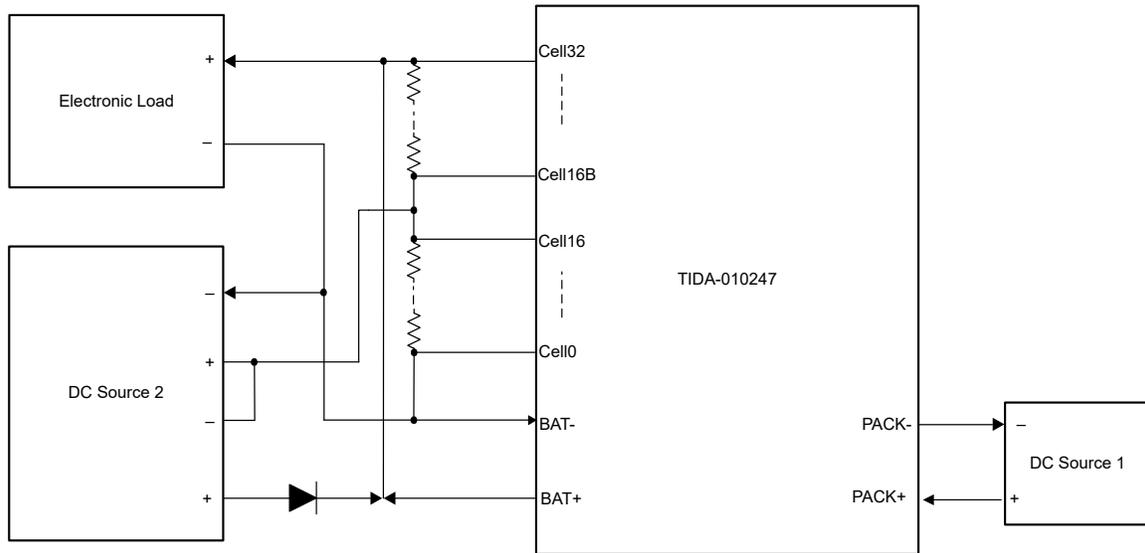


図 3-5. 充電設定

図 3-6 に、以下の条件における放電プロセスの設定例を示します。

- DC 電源の構成: 96 V、100 A
- 電子負荷の構成: 定電流 (CC) モード

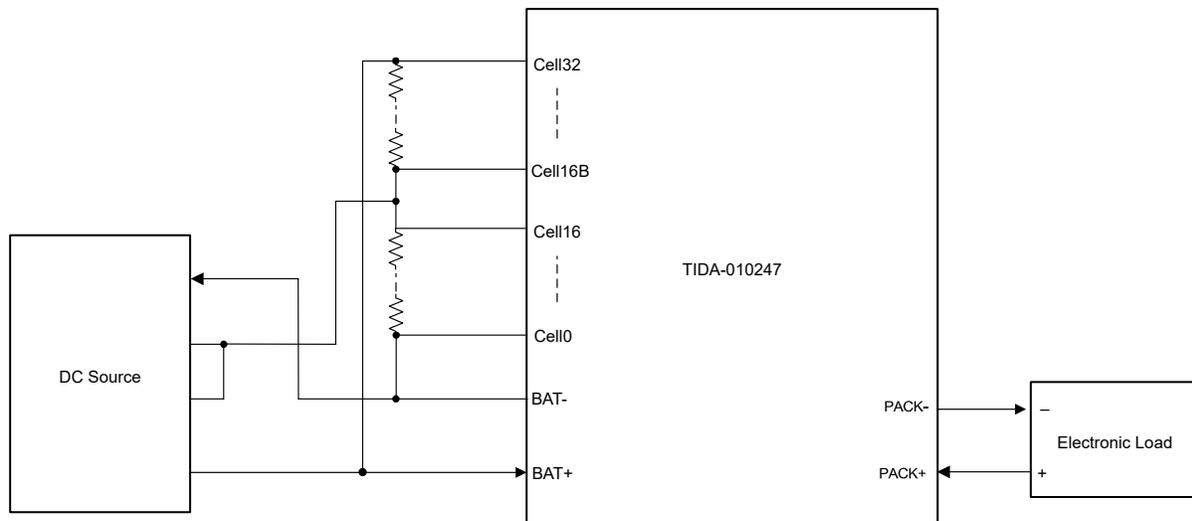


図 3-6. 放電設定

3.4 テスト結果

3.4.1 セル電圧の精度

このデザインでは、報告されるセル測定結果からセルごとの固定オフセット値を減算することで、固定オフセットをシンプルに調整します。BQ76972 は 25°C で $\pm 1.8\text{mV}$ の精度を達成しており、LFP バッテリセルを使用した場合は -40°C ~ 85°C で $\pm 4.5\text{mV}$ の精度を達成しているため、セル電圧の精度をさらに向上させるためのセル オフセット キャリブレーションは行いません。セル電圧の精度は BQ76972 でも同様です。『BQ76972 リチウムイオン、リチウムポリマ、LiFePO4 バッテリパック向け 3s~16s 高精度バッテリ モニタ/プロテクタ』データシートも参照してください。

3.4.2 パック電流精度

このデザインでは、1 つの $0.3\text{m}\Omega$ 、 15W 、 25PPM シャント抵抗を使用して、パック電流を測定します。ボード オフセットのキャリブレーションは、『BQ769x2 キャリブレーションおよび OTP プログラミング ガイド』の「キャリブレーション」セクションのガイダンスを参照して実施されました。その後、このアプリケーションノートのガイダンスに従って、 6A の放電電流で電流ゲインのキャリブレーションを行いました。ボード オフセットと電流ゲインの値をワンタイム プログラマブル (OTP) にて下位 BQ76972 に書き込みます。これを行わない場合、デバイスがシャットダウン モードからウェークアップするたびに、MCU がこのデータを保存し、毎回下位 BQ76972 に書き込む必要があります。室温でのパック電流精度のデータを、[図 3-7](#) に示します。最大電流誤差は、放電電流が 5A 未満のとき 20mA 未満、放電電流が 5A を超えるときは 0.2% です。

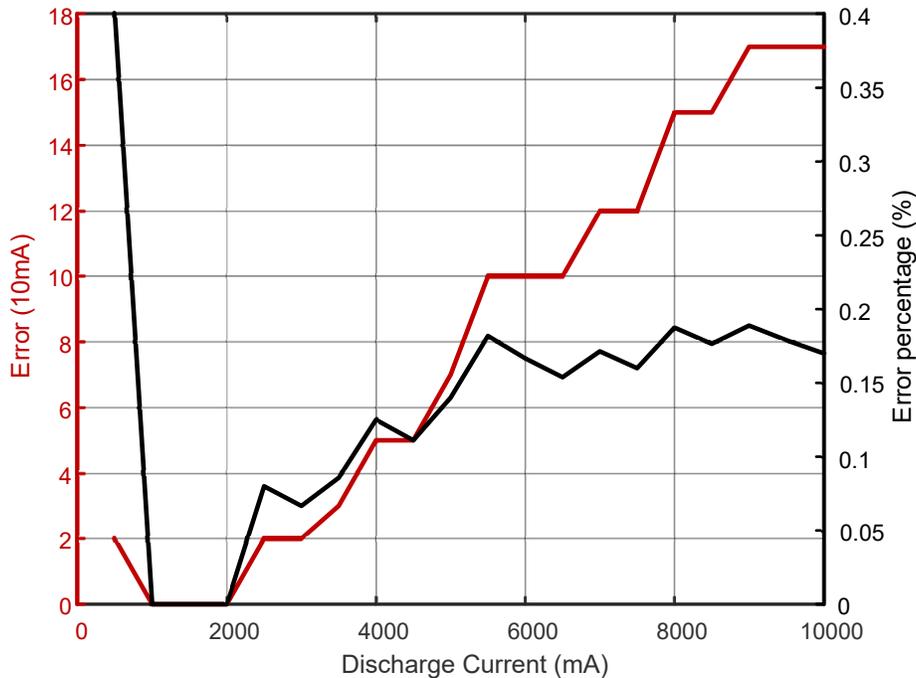


図 3-7. パック電流精度

3.4.3 補助電源とシステム消費電流

補助電源方式に起因して、このデザインはシャットダウン モードでの消費電流が非常に小さいです。スタックアーキテクチャにより、システム全体の消費電流は、最上位スタックからの出力電流とバッテリ負極ポートに戻る電流の最大値となります。電流値は、 10Ω の抵抗の両端の電圧から測定できます。

さらに、このデザインでは、2 つのスタック グループ間の消費電流のギャップが最適化され、グループ間での追加的なセル バランシングが回避されます。消費電流のギャップは、 $I_{\text{cell}32}$ から I_{GND} を差し引くことで計算できます。[図 3-8](#) に消費電流のテスト設定を示し、[表 3-3](#) に平均システム消費電流と平均グループ不均衡電流のテスト結果を示します。

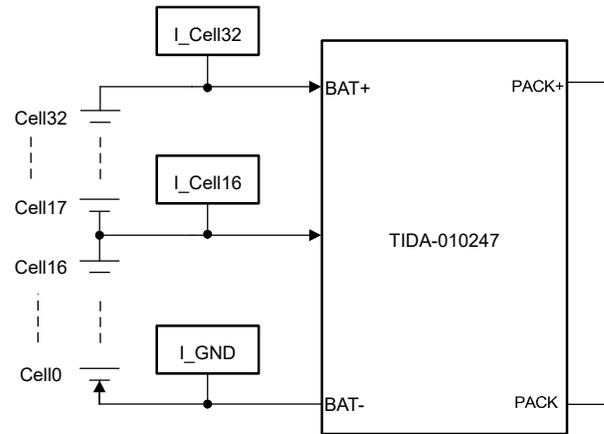


図 3-8. 消費電流のテスト設定

表 3-3. 消費電流

説明		I_{cell32}	I_{cell16}	I_{GND}	電流のギャップ (μA)	合計電流 (μA)
通常モード (MOSFET オフ)	電流 (μA)	4550	550	4565	15	4565
通常モード (MOSFET オン)	電流 (μA)	4504	550	4484	20	4504
シップ モード	電流 (μA)	7	0	7	0	7

このデータは、低電圧 ESS 用の電源レール構成でテストされています。別の構成では、バッテリーではなく外部の 24V で電力供給されるためです。電流テストには、INA229_239EVM と 10Ω の抵抗を使用しています。通常モードでは、充電 MOSFET と放電 MOSFET がオンまたはオフのいずれかの状態でも、総消費電流は 4.6mA 未満です。グループ間の不均衡は $20\mu A$ 未満です。出荷モードでの消費電流は $10\mu A$ 未満です。

図 3-9 に、補助電源のスタートアップ時のテスト結果を示します。

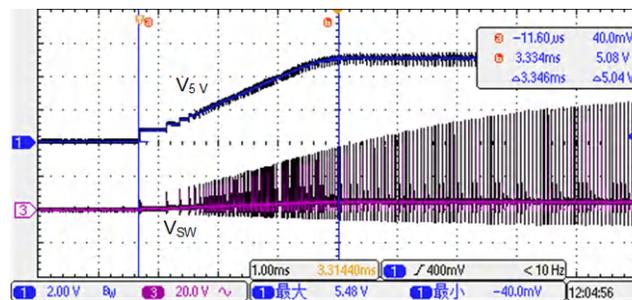


図 3-9. DC/DC のスタートアップ

このデザインでは、DC/DC 出力が短絡した場合のフォルトも考慮しています。図 3-10 に、DC/DC の短絡テスト結果を示します。出力が短絡した場合、熱の問題を防止するため、MCU によって DC/DC は無効化されます。

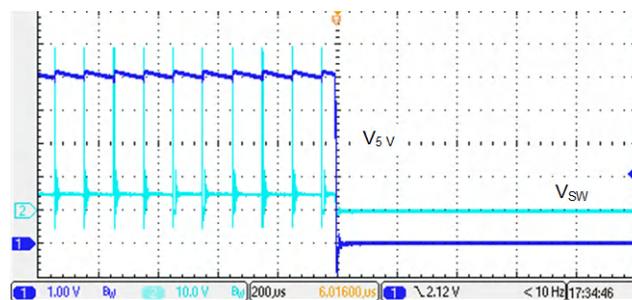


図 3-10. DC/DC 出力の短絡

3.4.4 保護

このデザインには、セル過電圧、セル低電圧、2レベルの過電流放電、過電流充電、放電短絡、過熱および低温の各保護を含む、一連のバッテリーセル保護機能がすべて統合されています。さらに、セルの開路、ホストウォッチドッグ、充電および放電 MOSFET フォルト、MOSFET の過熱など、多くのシステムレベルのフォルトも監視します。保護機能の一部は、テキサス・インスツルメンツのラボでテスト済みです。

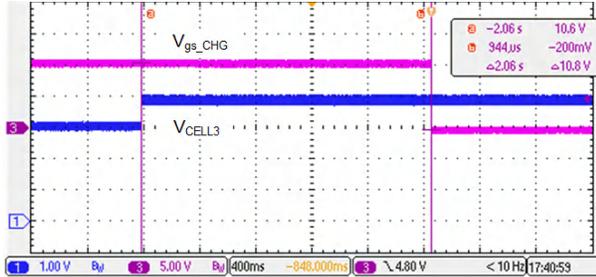


図 3-11. セル過電圧の保護

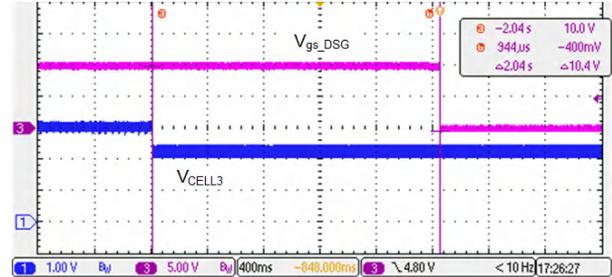


図 3-12. セル低電圧の保護

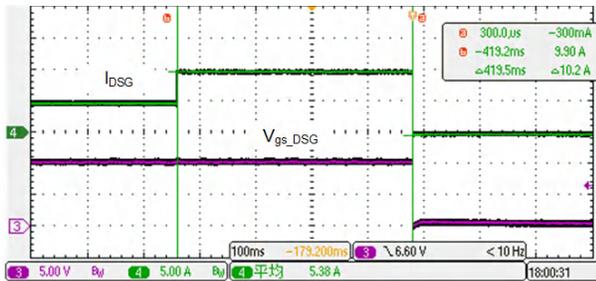


図 3-13. 過電流放電の保護

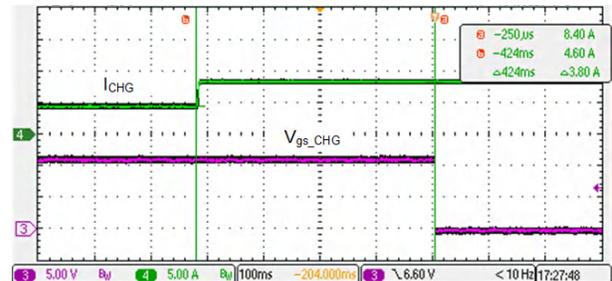


図 3-14. 過電流充電の保護

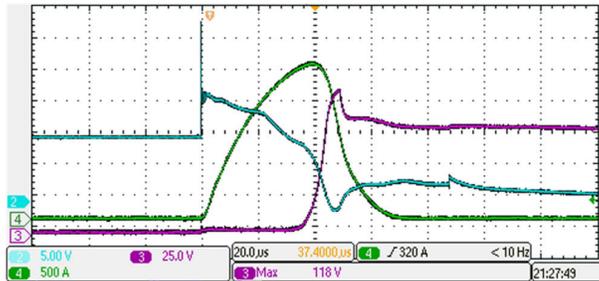


図 3-15. 放電短絡の保護

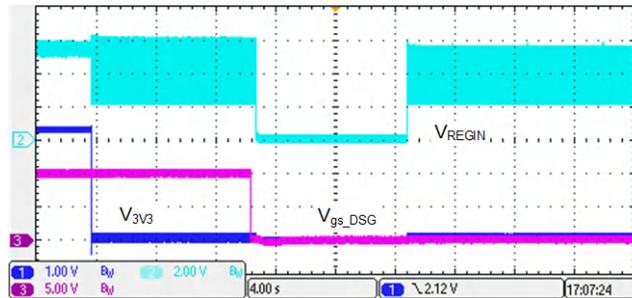


図 3-16. 3.3V 短絡保護および HWD 保護

3.3V が短絡すると、MCU の電源がオフになり、両方の BQ76972 デバイスは遅延後にホストウォッチドッグ (HWD) 保護を検出します。TIDA-010247 は、MCU が低消費電力モード (BQ76972 との通信を停止して節電) から 5 秒ごとにウェイクアップするように構成されているため、10 秒の HWD 遅延構成では 5 秒~10 秒の遅延が観測されます。

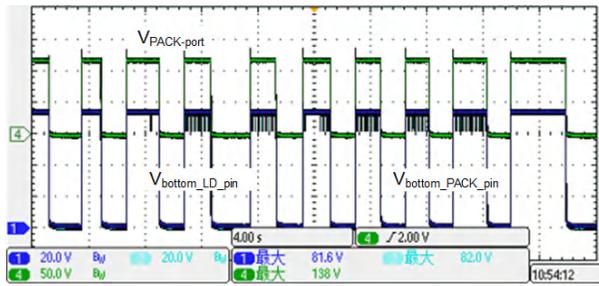


図 3-17. 120V On-PACK ポート - 下部 AFE の最大電圧

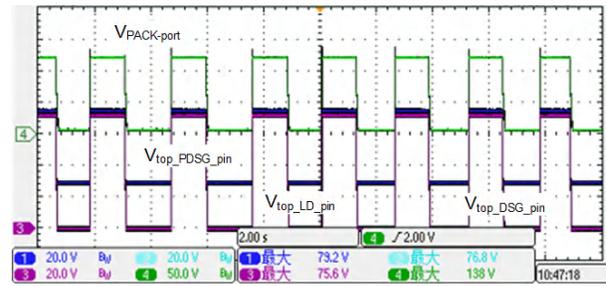


図 3-18. 120V On-PACK ポート - 上部 AFE の最大電圧

120V On-PACK ポートテストは、CHG と DSG MOSFET の両方をオフにした状態で実施します。

3.4.5 動作モードの遷移

このデザインには、通常モード、スタンバイモード、出荷モードの 3 つの動作モードがあります。パックの充電または放電中は、パックは通常モードになります。スタンバイモードとは、充電も放電も行わず、パックがチャージャまたは負荷の接続を待機しているときのことです。シャットダウンモードは消費電流が非常に小さいモードであり、エネルギーを節約し、パックまたはセル電圧が低いときにバッテリーの過放電を防止するのに役立ちます。図 3-19 に、異なる動作モードの遷移を示します。

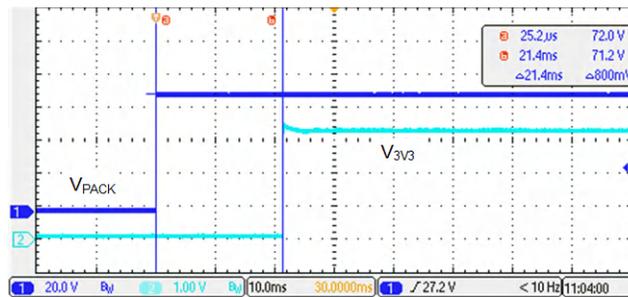


図 3-19. 出荷モードから通常モードへ

TIDA-010247 が出荷モードで、両方の BQ76972 デバイスがシャットダウンモードの場合、下位の BQ76972 が PACK 側に接続されたチャージャを検出し、通常モードをウェイクアップします。これにより、REG1 または REG2 が MCU に電源を供給します。

3.4.6 サーミスタ マルチプレクサ

図 3-20 は、サーミスタ マルチプレクサの制御信号 A と B が、順番に 00-10-01-11 を自動的に繰り返すことを示しています。このデザインでは、17 のサーミスタすべての温度測定に 320ms を要します。

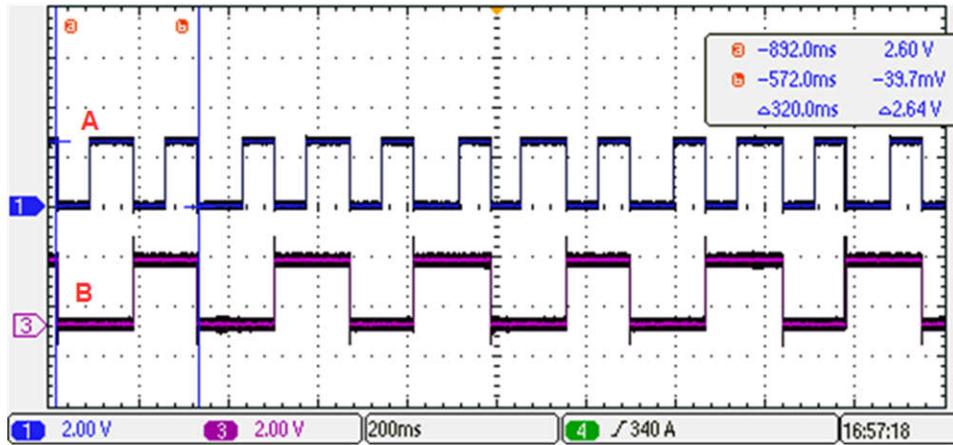


図 3-20. サーミスタ マルチプレクサの制御信号

『低コストの TMP6x リニア サーミスタで温度範囲全域にわたって $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 精度以上を達成する方法』アプリケーション ノートに記載された手順に従うことで、TMP6x リニア サーミスタを使用して、高精度で綿密な温度測定を低コストで簡単に実現できます。

図 3-21 に、 20°C ~ 125°C の温度測定精度を示します。サーミスタをオイルバスに浸し、BMU を室温に戻してテストを実施します。温度測定誤差は、温度が -20°C を超える場合は 1°C 未満、温度が -20°C を下回る場合は 2.5°C です。

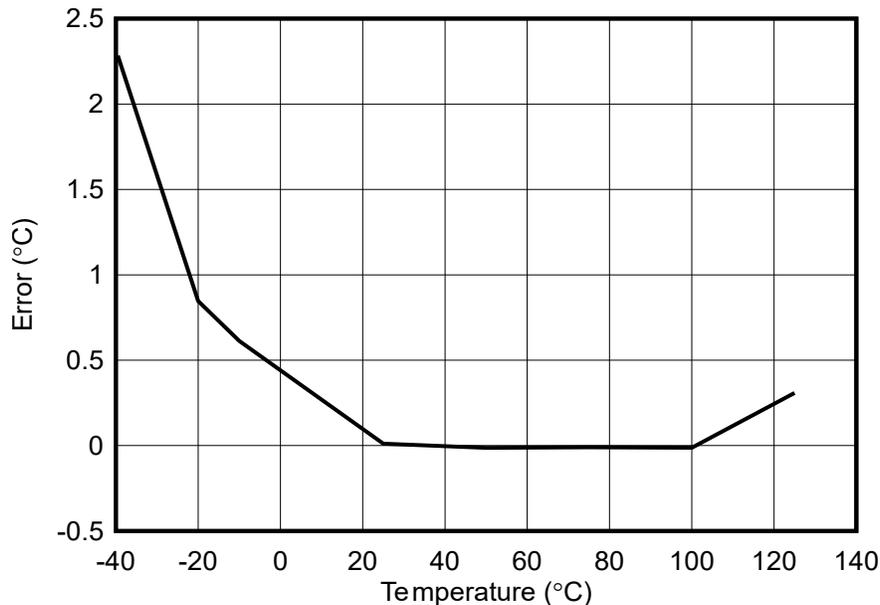


図 3-21. 温度精度

3.4.7 ESD 性能

このデザインの ESD 性能は、実際の 32s バッテリ パックを接続した状態で、IEC 61000-4-2 に従ってサードパーティーの認定ラボでテストされました。表 3-4 に、ESD 接触放電テストのテスト結果を示します。

表 3-4. ESD - 接触放電

電圧	印加端子										
	PACK+	PACK-	CAN0H	CAN0L	CAN1H	CAN1L	RS-485A	RS-485B	Wakeln	WakeOut	ファン制御
2 kV	合格	合格	合格	合格	合格						
-2 kV	合格	合格	合格	合格	合格						
4 kV	合格	合格	合格	合格	合格						
-4 kV	合格	合格	合格	合格	合格						
8 kV	合格	合格	合格	合格	合格						
-8 kV	合格	合格	合格	合格	合格						

3.4.8 サージ耐性

このデザインは、IEC61000-4-5 で規定されているテスト手順に従って、サージに対する耐性を示しています。テストは、以下の指定されたテストレベルを使用して、DC 電源ポートと通信ポートで実行されています。

- DC 電源ポート (PACK+ および PACK-) の場合 : テストレベル 4、 $\pm 2\text{kV}$ ライン間、 $\pm 4\text{kV}$ ライン - グランド間
- 通信ポート (CAN および RS-485) の場合 : テストレベル 3、 $\pm 1\text{kV}$ ライン間、 $\pm 2\text{kV}$ ライン - グランド間

デバイスは、実際の 32s バッテリ パックを取り付けた状態で、サードパーティーの認定ラボでテストされました。表 3-5 に、テスト結果を示します。

表 3-5. サージ性能

オープン回路のテスト電圧	印加端子								
	PACK+	PACK-	CAN0H	CAN0L	CAN1H	CAN1L	RS-485A	RS-485B	
ライン間	1kv	該当なし		合格	合格	合格	合格	合格	合格
	-1kv			合格	合格	合格	合格	合格	合格
	2 kV	合格	合格	該当なし					
	-2 kV	合格	合格						
ライン - グランド間	2 kV	該当なし		合格	合格	合格	合格	合格	合格
	-2kv			合格	合格	合格	合格	合格	合格
	4 kV	合格	合格	該当なし					
	-4 kV	合格	合格						

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-010247](#) 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-010247](#) 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

EV2400	バッテリー残量 (gas) 計向け USB ベース PC インターフェイス ボードの評価基板
LM5169 クイック スタート カリキュレーター	LM5163 と LM5164 コンバータ クイックスタート デザイン ツール
BQ769X2-THERMISTOR-COEFF-CALCULATOR	BQ76952/BQ76942 サーマスタ温度オプティマイザ - 所定の T (温度) 範囲内でサーミスタの係数を計算
INA229_239EVM	INA229 / INA239 の評価基板

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、『[BQ76972](#) リチウムイオン、リチウムポリマ、LiFePO4 バッテリー パック向け 3s~16s 高精度バッテリー モニタ / プロテクタ』データシート
2. テキサス・インスツルメンツ、『[BQ769x2](#) キャリブレーションおよび OTP プログラミング ガイド』
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](#)』E2E™ フォーラム
4. テキサス・インスツルメンツ、『[産業用バッテリー パック アプリケーション向け超低静止電流 DC/DC 降圧コンバータの使用](#)』アプリケーション ブリーフ
5. テキサス・インスツルメンツ、『[低コストの TMP6x リニア サーマスタで温度範囲全域にわたって ±1°C精度以上を達成する方法](#)』アプリケーション ノート

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

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

KIAN LIN は、SEM 産業用エネルギー インフラストラクチャ チームのシステム エンジニアで、産業用バッテリー パックの設計上の課題に対処するため、バッテリー パックとエネルギー ストレージ システムのアプリケーションに重点的に取り組んでいます。

6 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision * (December 2022) to Revision A (December 2024)	Page
--	-------------

- このリファレンス デザインは、最新のバッテリー モニタ デバイスである BQ76972 とマイクロコントローラ MSPM0G3519 を使用して更新されています。また、BMU スタッキングによる高電圧 (最大 1500V) のエネルギー ストレージ ステーション アプリケーション向けの CAN インターフェイスも追加されています。..... 1
-

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