

Design Guide: TIDA-010976

エネルギー貯蔵システム向け 52 直列セル ワイヤレス バッテリ管理 ユニット リファレンス デザイン



説明

このリファレンス デザインは、高セル電圧精度を備えたエネルギー貯蔵システム向けの 52 個の直列セル ワイヤレス バッテリ管理ユニット (wBMU) を提供します。wBMU は、ワイヤレス通信技術を用いて、各セルの電圧および温度データをリアルタイムでホスト コントローラに渡します。この設計は、ワイヤ バッテリ管理システム (BMS) アーキテクチャにおける課題を克服し、煩雑な製造工程を回避し、頻繁な保守の必要性を低減し、コネクタやハーネスの故障率を最小化します。ワイヤレス通信は、必要なケーブルやコネクタの数を削減し、システムの重量とコストを低減します。

リソース


TIDA-010976	デザイン フォルダ
BQ78706 、 CC2662R-Q1 、 LM5168	プロダクト フォルダ
TMUX1308 、 TPS3436-Q1 、 LSF0204	プロダクト フォルダ
TMP61 、 TPS71533	プロダクト フォルダ

特長

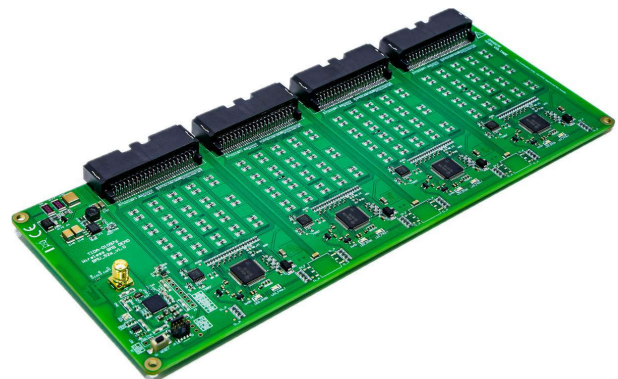
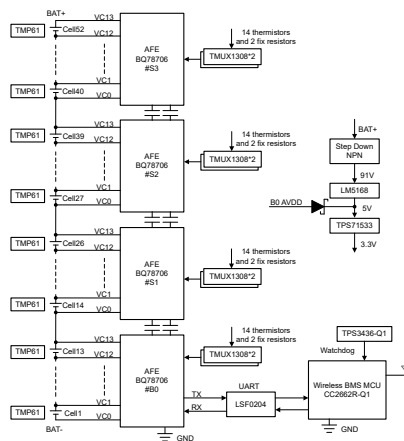
- セル電圧が $2V < V_{cell} < 4V$ 、 $-40^{\circ}C \sim 125^{\circ}C$ の範囲において、キャリブレーションなしで $\pm 2.4mV$ の電圧精度
- マルチプレクサ (MUX) による全セル温度検出
- 機能安全規格に準拠したプロトコルによる堅牢なワイヤレス通信
- 堅牢かつプログラム可能なバッテリセルおよびパック保護機能
- キープアライブ モードでの $32\mu A$ の電流消費
- バス バー接続あり、またはバス バー接続なしに対応

アプリケーション

- ESS – ワイヤレス バッテリ管理システム (wBMS)
- バッテリ バックアップ ユニツ (BBU)



テキサス インストルメンツの 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

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、使用方法に応じて決定します。ESS は、住宅用 ESS、商業用および産業用 ESS、およびグリッド ESS の 3 つのカテゴリに分類できます。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複数の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。重量制限や長時間駆動のニーズにより、バッテリー セルの化学構成は鉛蓄電池からリチウムイオン、リチウムポリマー、またはリン酸鉄リチウム (LiFePO4) へと移行しています。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。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。低電流消費によりエネルギーを節約でき、バッテリーを過放電させることなく、より長い保存時間を実現します。

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基板です。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 は、有線または無線の方法でラックレベル コントローラであるバッテリー管理ユニット (BCU) と通信し、安全性および充電管理のためにバッテリーパック データを提供できます。

線式 BMS 設計では、通信の堅牢性を確保するために、コントローラ エリア ネットワーク (CAN) とデジタイゼーション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。CAN インターフェイスと比べると、デジタイゼーション通信を採用した BMU では、わずかに数個のアイソレーション トランジスタだけが必要です。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、デジタイゼーション設計は 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。

ワイヤレス BMS (wBMS) 設計では、ワイヤレス トランシーバ デバイスを介して、BMU 内のバッテリー モニタから BCU 内のホスト MCU へ、ユニバーサル非同期受信送信器 (UART) データを送信するためにワイヤレス インターフェイスを使用します。有線設計と無線設計の最大の違いは、wBMS では各 BMU にワイヤレス MCU を搭載し、通信ケーブル、コネクタ、およびアイソレーション部品を置き換える点です。

この設計はエネルギー貯蔵システム用途に焦点を当てており、サーバー用バッテリーバックアップ ユニットのような他の高電圧バッテリーパック用途にも使用できます。ワイヤレス BMS MCU CC2662R-Q1 は、2.4GHz 周波数帯で動作する TI 自社開発のワイヤレス BMS プロトコルに基づき、BMU 間の堅牢なワイヤレス通信に使用されます。各 BMU 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) を備え、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。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ゼーションを採用しています。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 チャンネルごとに 100mA バランスリング電流を供給しています。

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。

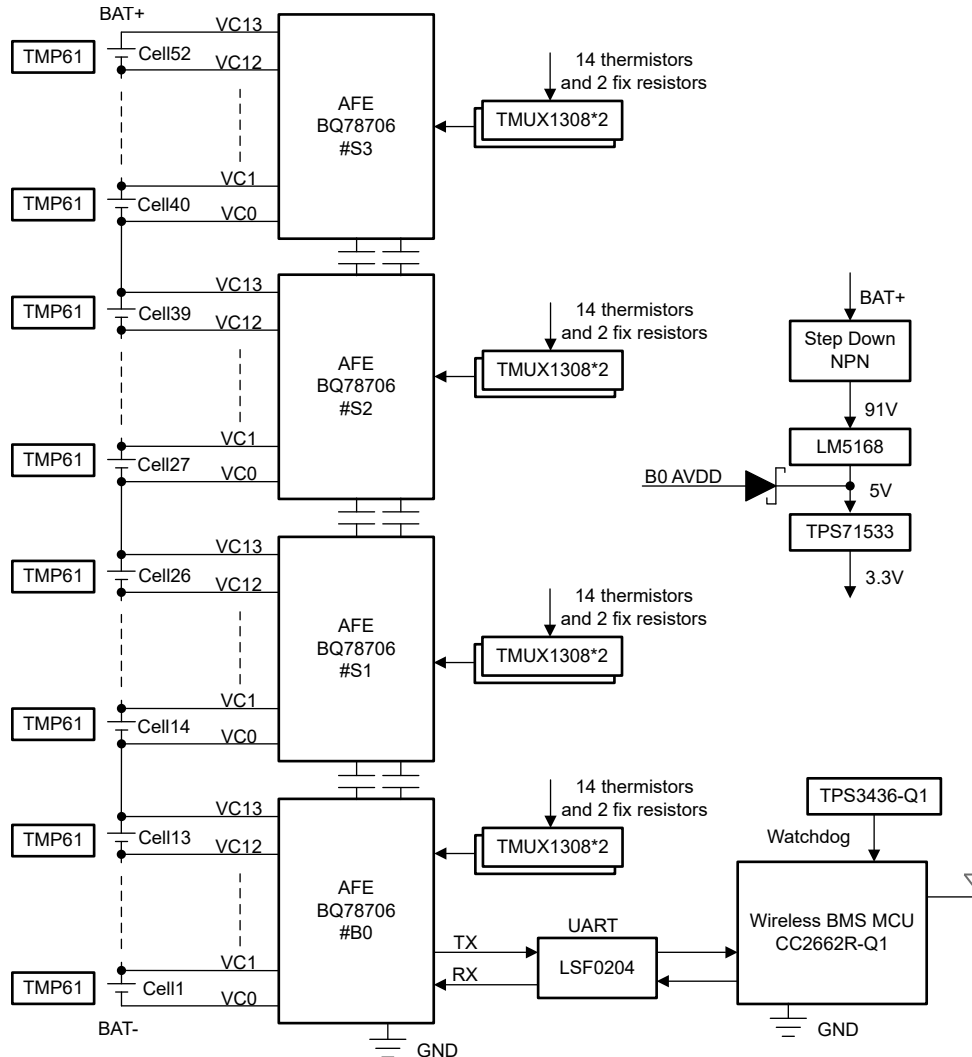


図 2-1. wBMU のブロック図

この設計では、wBMS MCU CC2662R-Q1 を使用して BMU 間のワイヤレス通信を可能にしています。この wBMS MCU は、無線周波数 (RF) 物理層とユーザー プログラム可能な MCU コアを統合したシステム オンチップ (SoC) であり、通信プロトコル スタックやアプリケーション ソフトウェア (SW) を実装できます。このプロトコルは、2.4GHz 周波数帯で動作する **Bluetooth® Low Energy** 技術に基づいた、自社開発の独自ワイヤレス BMS プロトコルです。

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、最上位の BQ78706 デバイスは BQ78706#S3 であり、最下位の BQ78706 デバイスは BQ78706#B0 です。順方向のデジタイズ通信の方向は、BQ78706#B0 デバイスから BQ78706#S1 デバイスへととなります。

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、4 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 チャネルから 18 チャネルに拡張します。

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。#B0 が異なります。#B0 がシャットダウン中に UART を有効にするためには AVDD をオンに設定する必要があります、そのため #B0 の TMUX1308 は LM5168 の出力から給電されます。

異なる BQ78706 デバイス間の供給電流の差を回避するため、この設計では #B0 の AVDD を使用するのではなく、オンボード電源レールを構築して wBMS MCU に給電しています。入力 120V、0.3A の超低 I_Q 同期整流式降圧 DC/DC コンバータ LM5168 (低 I_Q) がプリレギュレータとして使用されます。52 直列セルのバッテリー パック電圧が 120V を超える可能性があるため、LM5168 の前段にディスクリートの降圧回路が追加されています。

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。

正の温度係数を持つ $\pm 1\%$ の 10k Ω リニア サーミスタ TMP61 を使用してセル温度を監視し、BQ78706 デバイスで測定します。

2.2 設計上の考慮事項

2.2.1 ワイヤレス ハードウェア構成

CC13xx/CC26xx ハードウェア構成および PCB 設計の考慮事項アプリケーション ノートには、CC2662R-Q1 RF フロントエンド、回路図、PCB、アンテナの設計ガイドラインが記載されています。推奨する水晶振動子については、CC13xx、CC26xx、CC23xx、CC27xx ワイヤレス MCU ファミリー用の水晶発振器および水晶振動子の選択アプリケーション ノートを参照してください。

この設計では、低電流消費と部品点数の削減のために、シングルエンド RF フロントエンド構成を使用しています。バランは、信号を平衡 (差動) から不平衡 (シングルエンド) に変換するために使用されます。図 2-2 に構成を示します。RF コンポーネントには 0201 (インチ系) サイズの部品を推奨します。これにより、部品パッドが 50 Ω の RF 配線により適合し、不連続性を低減するとともに、挿入損失の低減に役立ちます。

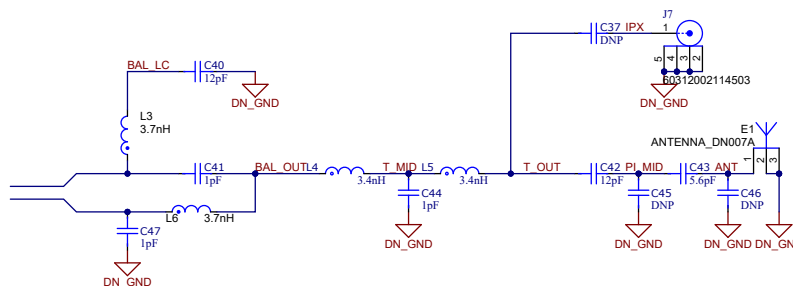


図 2-2. RF フロント エンド

アンテナの選択については、アンテナ選択ガイドを参照してください: [アンテナ選択クイックガイド](#) および包括的な [アンテナ選択ガイド](#)。

アンテナ マッチング ネットワークを組み込むことが常に推奨されます。これにより、設計者はアンテナを調整し、不整合損失を低減できます。シングルバンド アンテナの場合、アンテナの前に π マッチ ネットワークを常に配置することを推奨します。図 2-3 を参照。3 つのフットプリント (または部品) のうち 2 つのみが必要です。アンテナのインピーダンスによって、ANT1 または ANT3 のどちらのフットプリント (あるいは部品) を使用するかが決まります。ANT2 は常に使用され、この設計ではアンテナが非常に良好にマッチしている場合でも、5.6pF のコンデンサとして設定できます。

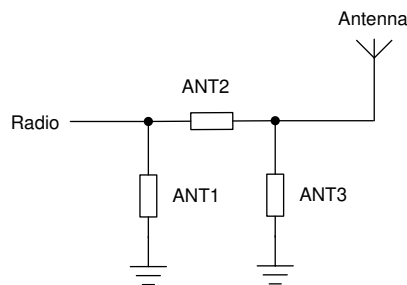


図 2-3. シングルバンド アンテナ用に推奨されるアンテナの π マッチ ネットワーク

この設計では、wBMS 通信に 2.4GHz 反転 F アンテナを採用しています。2.4GHz 反転型 F アンテナアプリケーションノートに、このアンテナの測定結果を示しています。初期立ち上げおよび出力電力の検証を支援するために、SMA テストポートも搭載されています。

2.2.2 補助電源方式

#B0 がシャットダウン モードのときに UART を有効にするため、#B0 の AVDD をオンに設定します。理論上、#B0 の AVDD は wBMS MCU、レベル シフタ、マルチプレクサへの電源供給に使用できますが、この構成では #B0 の電流消費が増加します。これを回避するため、この設計では #B0 の AVDD を使用するのではなく、オンボードの電源レールを構築して wBMS MCU に電源を供給しています。図 2-4 はこの設計の戦略を示しています。

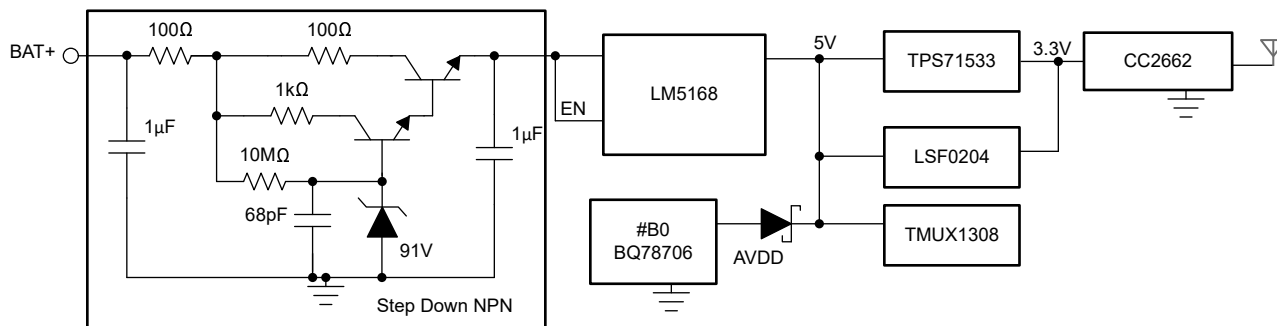


図 2-4. 補助電源方式

低電圧 ESS の電源戦略では、入力 120V、0.3A の超低 I_Q 同期整流式降圧 DC/DC コンバータ LM5168P と、低 I_Q 50mA LDO の TPS71533 を主電源として採用しており、LDO のみを使用する場合と比べて、システムの効率および熱性能を向上させます。

52s 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。降圧回路には 2 つの NPN トランジスタが使用されており、DC 電流利得を高めて静止電流を低減しています。#B0 AVDD は冗長性のため、DC/DC の出力に接続されています。LM5168 または降圧 NPN 回路が故障した場合、CC2662R-Q1 は #B0 の AVDD から給電されます。LM5168 の出力電圧を 5V よりわずかに高く設定し、通常動作時にはショットキー ダイオードが逆方向バイアスされるようにします。

補助電源レールは、#B0 の AVDD にかかる追加負荷によって生じる電流差を解消できますが、電源レールには追加のデバイスが必要となり、複雑さとコストが増加します。図 2-5 に、低コストの代替構成を示します。

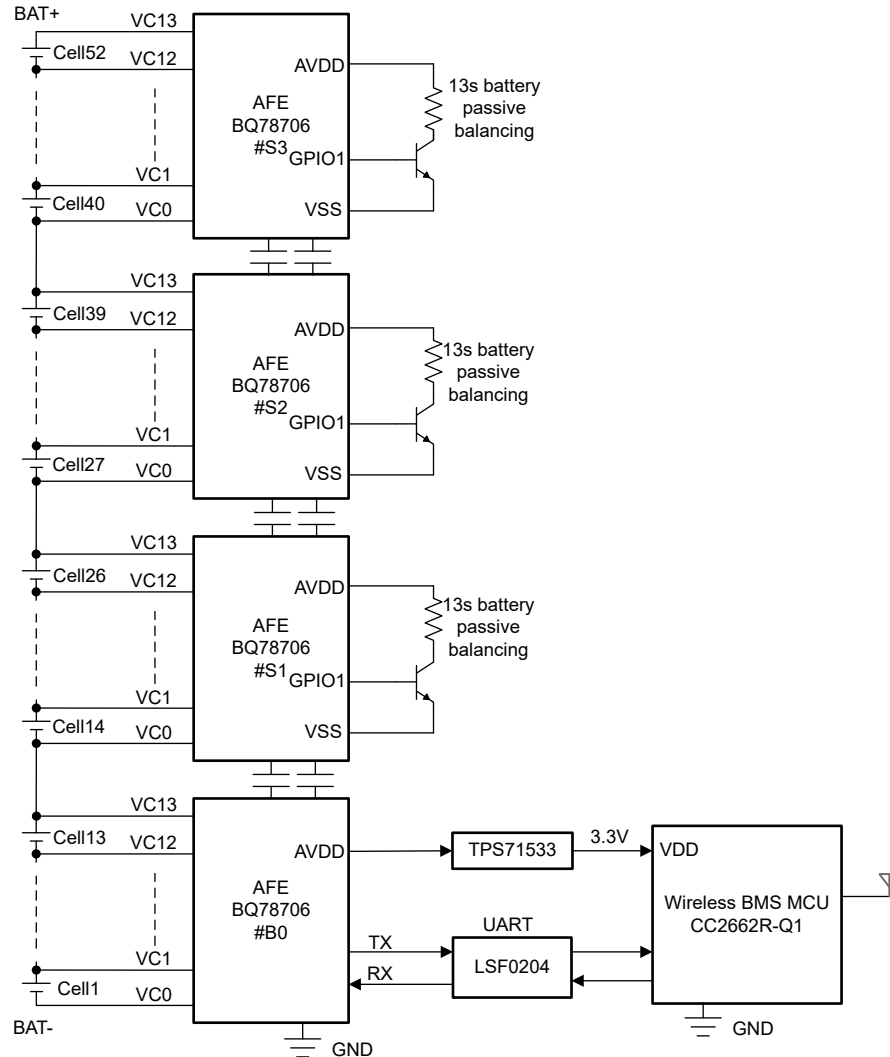


図 2-5. 低コストの電源戦略オプション

BQ78706 の AVDD は最大 20mA の外部負荷を許容するため、ピーク電流が約 10mA しか必要とされない CC2662R-Q1 は AVDD から直接給電できます。電流消費を均衡させるため、BQ78706 の GPIO によって制御される 3 つのダミー抵抗負荷が追加されています。

2.2.3 サーミスタ マルチプレクサ

図 2-6 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 のサーミスタを測定できることを意味します。

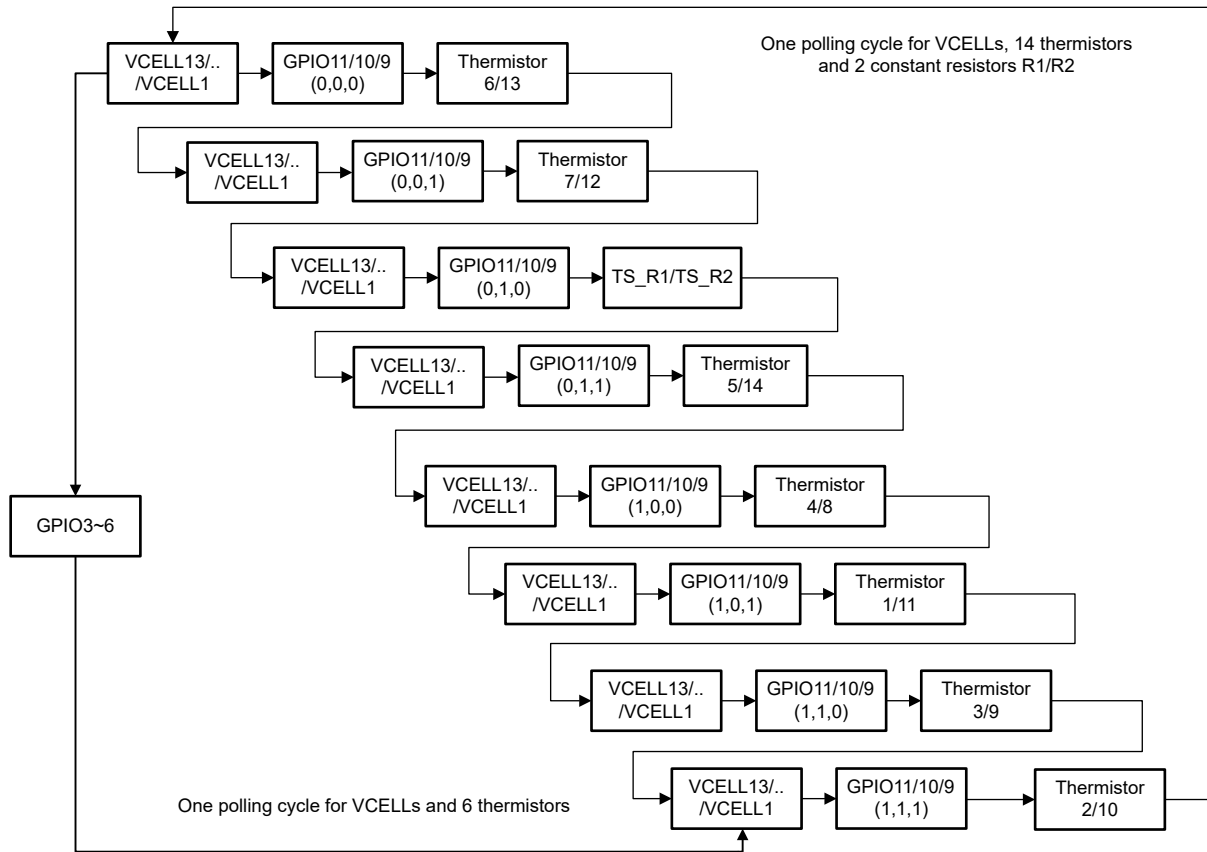


図 2-6. マルチプレクサ制御ロジック

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 1 ループの実行にはより長い時間がかかりますが、これは GBT34131-2023 規格 (全サーミスタに対して 1 秒の読み取り間隔) を満たすと考えられます。

2.2.4 セル バランシング

図 2-7 に、セル バランシング回路を示します。

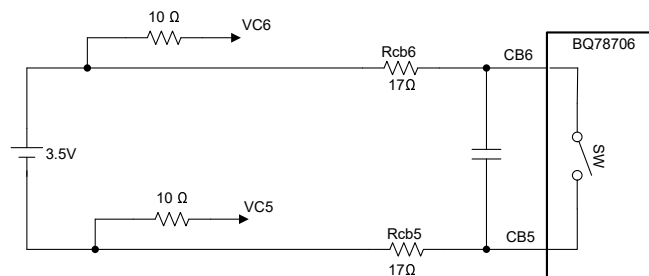


図 2-7. セル バランシング回路

この設計では、100mA のバラ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。

2.3 主な使用製品

2.3.1 CC2662R-Q1

CC2662R-Q1 SimpleLink™ ワイヤレス MCU には Arm® Cortex®-M4F システム CPU が搭載されており、アプリケーションおよびワイヤレス BMS プロトコル スタックの上位レイヤを実行します。

システム CPU は、最小限のメモリ実装、低消費電力といったシステム要件を満たす、高性能で低コストのプラットフォームの基盤となり、極めて優れた計算性能と割り込みに対する並外れたシステム応答を実現します。

このデバイスの主な特長を以下に示します。

- TI の SimpleLink™ ワイヤレス BMS (WBMS) プロトコルをサポートし、堅牢で低レイテンシ、高スループットの通信を実現します
- 機能安全品質管理の分類には、TI の品質管理開発プロセスおよび今後予定されている機能安全 FIT 率の計算、FMEDA、機能安全関連の資料が含まれます
- AEC-Q100 Grade 2 温度範囲 (-40°C ~ +105°C) に適合し、ウェットプル フランク付き 7mm × 7mm VQFN パッケージで提供されます
- RAM 全保持時における 0.94µA の低スタンバイ電流
- 優れた無線リンク バジェット: 97dBm

2.3.2 BQ78706

BQ78706 は、エネルギー貯蔵システム (ESS)、バッテリー バックアップ ユニット (BBU)、およびポータブル電源ステーション (PPS) における高電圧バッテリー マネジメント システムで、最大 14 直列セルのバッテリー モジュールに対して高精度のセル電圧測定を提供します。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) で絶縁されたダイジー 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。

2.3.3 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 チャネル (シングルエンド) MUX、TMUX1309-Q1 は 4:1、2 チャネル (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。

2.3.4 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 TMP61

[サーミスタ設計ツール](#)には、抵抗値対温度表 (R-T 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、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

この設計の主要な性能は、TI ラボでテストされています。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 3-1 は設計ボードのハードウェア接続を示しています。

表 3-1. バッテリ コネクタ J1_n (n = B0, S1, S2, S3)

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
J1_n - 21	GND	システム グランド
J1_n - 1	TS1	サーミスタ 1 の正端子
J1_n - 22	TS2	サーミスタ 2 の正端子
J1_n - 2	TS3	サーミスタ 3 の正端子
J1_n - 23	TS4	サーミスタ 4 の正端子
J1_n - 3	TS5	サーミスタ 5 の正端子
J1_n - 24	TS6	サーミスタ 6 の正端子
J1_n - 4	TS7	サーミスタ 7 の正端子
J1_n - 5	TS8	サーミスタ 8 の正端子
J1_n - 25	GND	システム グランド
J1_n - 26	TS9	サーミスタ 9 の正端子
J1_n - 6	TS10	サーミスタ 10 の正端子
J1_n - 27	TS11	サーミスタ 11 の正端子
J1_n - 7	TS12	サーミスタ 12 の正端子
J1_n - 28	TS13	サーミスタ 13 の正端子
J1_n - 8	TS14	サーミスタ 14 の正端子
J1_n - 30	Module_N	BQ78706 グランド
J1_n - 10	CELL0	CELL1 の負端子
J1_n - 31	CELL1	CELL1 の正端子
J1_n - 11	CELL2	CELL2 の正端子
J1_n - 32	CELL3	CELL3 の正端子
J1_n - 12	CELL4	CELL4 の正端子
J1_n - 33	CELL5	CELL5 の正端子
J1_n - 13	CELL6	CELL6 の正端子
J1_n - 34	CELL7	CELL7 の正端子
J1_n - 14	CELL8	CELL8 の正端子
J1_n - 35	CELL9	CELL9 の正端子
J1_n - 36	CELL10	CELL10 の正端子
J1_n - 16	CELL11	CELL11 の正端子
J1_n - 37	CELL12	CELL12 の正端子
J1_n - 17	CELL13	CELL13 の正端子
J1_n - 38	CELL14	CELL14 の正端子
J1_n - 18	CELL15	CELL15 の正端子
J1_n - 39	CELL16	CELL16 の正端子
J1_n - 19	CELL17	CELL17 の正端子
J1_n - 40	CELL18	CELL18 の正端子
J1_n - 20	Module_P	BQ78706 電源
J1_n - 15	CELL_BB	バス バー ターミナル

表 3-2 はワイヤレス MCU への JTAG 接続を提供します。

表 3-2. JTAG 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
J5-1	3V3_CC	3.3V 電源
J5-2	TMS	JTAG TMS ポート
J5-3、5.9	GND	グラウンド
J5-4	TCK	JTAG TCK ポート
J5-6	TDO	JTAG TDO ポート
J5-8	TDI	JTAG TDI ポート
J5-10	RST_CC	CC2662R-Q1 リセット信号

3.1 ハードウェア要件

表 3-3 に、テストに使用した機器の概要を示します。

表 3-3. 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
DC 電源	Agilent® 6030A
デバッガ	LP-XDS110ET
ロジックアナライザ	Kingst® LA5016

3.2 ソフトウェア要件

この設計には、ソフトウェア開発環境が必要です。このセクションでは、Code Composer Studio™ をワイヤレス BMS SDK で使用する手順を説明します。

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。

- CCSTUDIO: [Code Composer Studio 統合開発環境 \(IDE\)](#)
- SysConfig: [システム構成ツール](#)
- ワイヤレス BMS SDK: [SIMPLELINK-WBMS-SDK](#)

インストールが完了したら、CCSTUDIO 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。ソフトウェアをロードする前に、TI の UNIFLASH ソフトウェアまたは他のツール (保護されるすべてのセクタを含む) を使用して、すべての CC2662R-Q1 デバイスのフラッシュ全体を消去する必要があります。このステップは不可欠です。

ネットワークを実行する前に、SDK フォルダの下にあるワイヤレス BMS ユーザー ガイドをお読みください。

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 52s パック構成で作成されました。1500V バッテリーラック構成をシミュレーションするために、8 枚の設計ボードを積層し、DC 電源で駆動される抵抗ラダーによってシミュレーションされた 416s バッテリーセルをサポートする必要があります。LAUNCHXL-CC26X2R1 開発キットはワイヤレスメイン (WM) ノードとして機能し、シリアルポートツールからのコマンドをワイヤレスコマンドに変換して、ワイヤレスデバイス (WD) ノードに転送します。

図 3-1 は 1500V バッテリーラックのテストセットアップを示しています。テスト中、設計ボードおよび CC2662R-Q1 デバイスのいずれもシールドされておらず、近くで動作するワイヤレスヘッドホンやマウスが 2.4GHz の干渉源となっています。

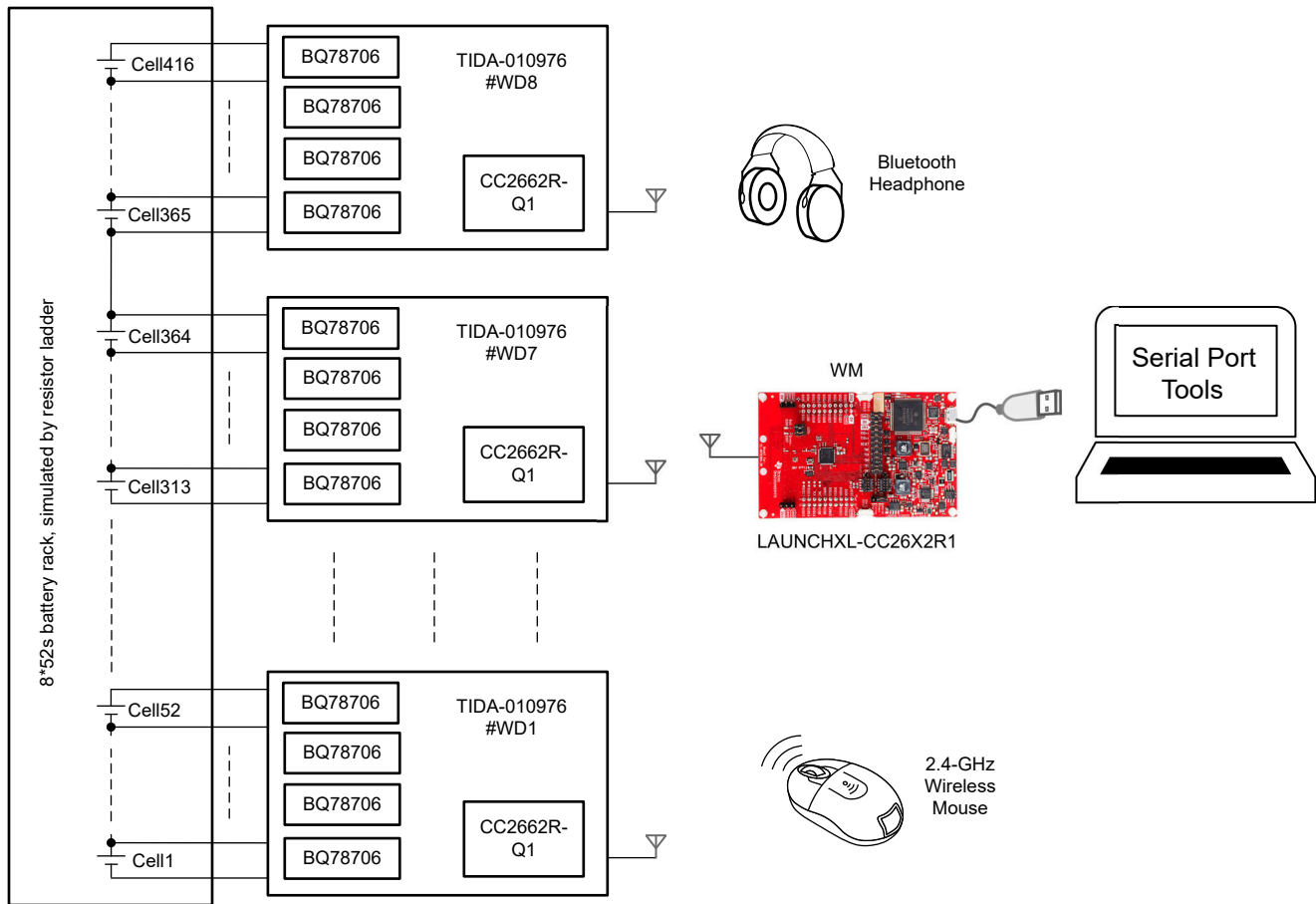


図 3-1. 1500V バッテリー ラックのテストのセットアップ

3.4 テスト結果

3.4.1 ネットワーク パフォーマンス

3.4.1.1 ネットワークの開始

プロジェクト レベル定義 `Manual_network_start` モードは、WM ノードおよび WD ノードに対して定義されます。これにより、ホスト マイコンはネットワーク構成を手動で設定できます。

WM ノードは、ホストマイコンとのシリアル通信に TI の uNPI を活用します。uNPI フレーム形式は、次のフィールドで構成されています：

- フレームの開始 (SOF): 常に 0xFE
- 長さフィールド: リトル エンディアン形式の長さ (LSB 先頭)
- コマンド タイプ: 送信されるコマンドのタイプ
 - 0x3A: 同期要求
 - 0x5A: 非同期要求|表示
 - 0x7A: 同期応答
- コマンド ID: 送信中のコマンドのオペコード。wBMS ユーザー ガイドのコマンド リファレンスセクションの詳細なコマンドに従ってください。
- ペイロード: 長さフィールドによって決定される可変長のペイロード
- フレーム チェック シーケンス (FCS): フレーム内の各バイトに対して、バス上で送受信された順に XOR を実行して算出します。SOF バイトは常に FCS 計算から除外されます。

表 3-4. ホスト パケット形式

START バイト	ペイロード長 (LSB)	ペイロード長 (MSB)	コマンド タイプ	コマンド ID	ペイロード	チェックサム
1B	1B	1B	1B	1B	変数	1B
0xFE	0x01	0x00	0x3A	0x08	0x00	0x33

ソフトウェアをロードした後、テストにはシリアル ポート ツールが使用されます。次のコマンドがシリアル ポート ツールから WM に送信され、ネットワークが起動します:

1. WM ノードをリセットします
2. MAC のネットワーク動作モードを設定します
3. ネットワークのメイン設定を設定します
4. ネットワーク ジョイン モードをセレクトティブ ジョインまたはノンセレクトティブ ジョインに設定します
5. セレクトティブ ジョイン モードが設定されている場合は、セレクトティブ ジョイン用にデバイス構成を設定します
6. ネットワークを起動します

ステップ 5 については、WD ノードの MAC アドレスが **FLASH-PROGRAMMER-2** ツールによって読み取られます。この設計では、テストのために揮発性動作モードとセレクトティブ ジョイン モードを使用します。

3.4.1.2 ネットワークレイテンシ

この設計では、ホスト マイコンが WM にコマンドを送信し、データに応答するまでのレイテンシをテストします。これには、ホスト マイコンと WM ノード間の UART インターフェイスに関わる遅延、および WM と WD ノード間の wBMS 通信フレームに関わる遅延が含まれます。

BQ78706 は、WM ノードによって転送されたホスト マイコンからの読み取り/書き込みコマンドを受信します。WM ノードはリクエストを 1 つ以上の WD ノードにブロードキャスト (またはユニキャスト) し、ノードがコマンドを BQ78706 に転送します。BQ78706 はリクエストを処理し、各 WD ノード固有のデータを含むパケットにラップされた応答を返します。各 WD ノードは BQ78706 からの応答を受信し、その応答を WM ノードに送信します。ホスト マイコンから WM ノードへのリクエストの送信と応答の受信には、通常 1~2 フレームの wBMS 通信を要します。フレーム周期は、WD ノードの数とネットワーク構成によって決まります。

- 最良の場合は 1 フレームで済みます。これは、WM ノードがフレーム開始直前にホスト マイコンからのコマンドを受信した場合です
- 最悪の場合は 2 フレームで済みます。これは、WM ノードがフレーム開始後にホスト マイコンからのコマンドを受信した場合で、WM ノードは次のフレームを待つ必要があるためです
- 再送信がある場合は、追加のフレームを追加する必要があります

表 3-5 に示すパラメータは、レイテンシテストに使用されます。

表 3-5. ネットワークの構成

属性	長さ (B)	データ	説明
ネットワーク ID	2	0xDDDD	ネットワークのネットワーク ID
numULSlots	1	0x08	システム スタック内のデバイス数
ulSlotTime	1	90	アップリンク スロット持続時間 (単位: 16µs)
dlSlotTime	2	310	ダウンリンク スロット持続時間 (16µs 単位)
minPNWDevices	1	=numULSlots	バーチャル ネットワーク (PNW) の最小デバイス数
maxRetries	1	03	データ フレーム送信の最大リトライ回数
keepAliveInt	1	17	キープ アライブ間隔
ul2dlTime	1	40	アップリンクからダウンリンクへのターンアラウンド時間 (単位: 16µs)
NumSkipRxInt (予約済み)	1	3	スキップされたキープアライブ間隔の数
DenyList	5	0xFFFFFFFF	チャンネル ホッピング シーケンスのリストを拒否します。注: データ チャネル数が 15 以上であることを確認します

レイテンシをテストするため、168 バイトのペイロードを持つブロードキャスト電圧および GPIO 読み取りコマンドが、シリアルポートツールから 100ms ごとに送信されます。168B バイトには、サーミスタ マルチプレクサの出力に接続された 52 直列セルの電圧データおよび 8 GPIO の電圧データを含めることができます。UART のボーレートは 921600 ビット/秒です。

図 3-2 は再送信なしの結果を表示します。テストされた総レイテンシは 39.2ms であり、これは WM ノードがフレーム開始後にコマンドを受信したことを意味します。理論上の最短長は 24.1ms です。

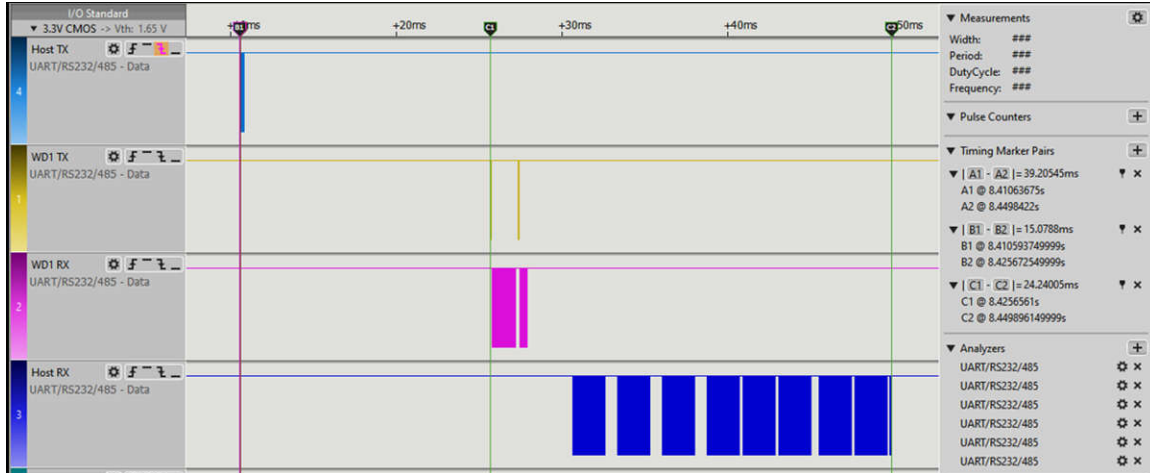


図 3-2. 再送信なしの 168B 読み取りレイテンシ

パケットを確実に送達するため、WM ノードは WD ノードから確認応答 (ack) を受信しない場合、パケットを再送信します。図 3-3 に、3 回の再送信の結果を示します。テストされた総レイテンシは 88ms であり、これは WM ノードがフレーム開始後にコマンドを受信したことを意味します。理論上の最短長は 72.9ms です。3 回の再送があっても、416 直列セルの電圧および 64 GPIO の読み取り間隔は 100ms 未満です。

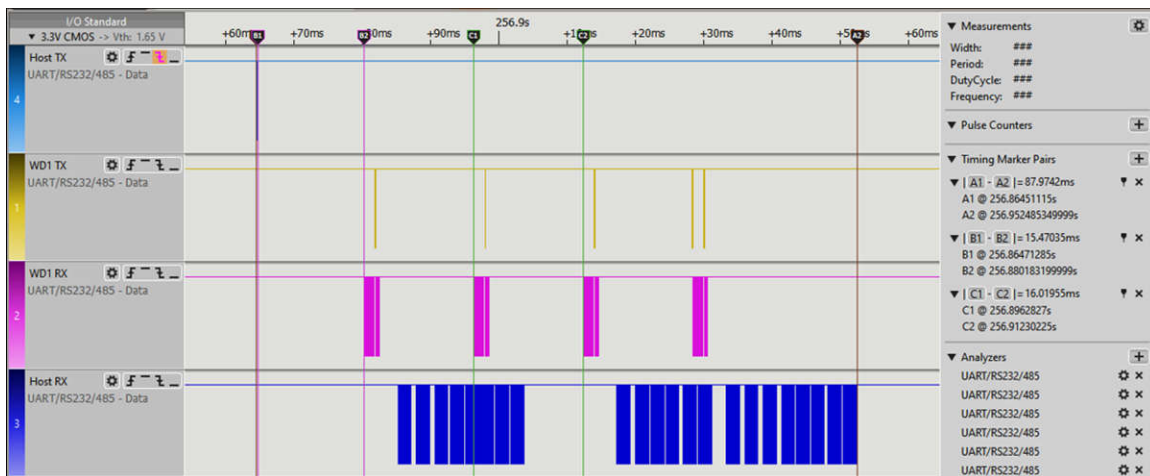


図 3-3. 3 回再送ありの 168B 読み取りレイテンシ

100ms ごとにさらに多くの GPIO 電圧を読み取る必要がある場合は、堅牢なワイヤレス通信を行うために、アップリンクおよびダウンリンクのスロット時間を延長する必要があります。wBMS ユーザーガイドの「スーパー フレームとタイミングの構成」のセクションを参照してください。

3.4.1.3 PDR、PS

ワイヤレス BMS ネットワークの堅牢性をテストするには、2 つのネットワークキー パフォーマンス インジケータ (KPI) パラメータを測定します。定義は次のとおりです:

1. **パス安定性 (PS):** パス安定性とは、各 WD ノードで最初に正常受信されたパケット数を、WM ノードから送信された総パケット数で割った割合です。
 - a. **メトリック:** PS > 85%
 - b. **注:** パケット数は 10000 を超える必要があります
2. **パケット配信レート (PDR):** PDR とは、各 WD ノードで正常に受信されたパケット数を、WM ノードから送信された総パケット数で割った割合です。これには、100ms 間隔で必要な再送信も含まれます。
 - a. **メトリック:** PDR > 99.9%
 - b. **注:** パケット数は 10000 を超える必要があります

3 つの KPI は、wBMS SDK の統計コマンドで読み取られたデータから算出されます。式 1 を使用して、ノード n の PDR を計算します。

$$PDR = 1 - \frac{\text{NumRxMissedPackets}_n}{\text{NumTxSuccessPackets}} \quad (1)$$

ここで、

- n は WD ノードの数です

式 1 を使用してノード n の PS を計算します。

$$PS_n = 1 - \frac{\text{Sum}(\text{Retry}_{1-3})}{\text{NumTxActualPackets}} \quad (2)$$

ここで、

- **NumTxActualPackets** は、**NumTxSuccessPackets** に各転送中のすべての WD ノードの最大リトライ回数を加えた値に基づいて計算されます
- **NumTxActualPackets** は、RF 物理層から送信された実際の TX パケット数を示します

表 3-6 に、30000 パケットの PS および PDR テスト結果を示します。テスト結果は、416 直列セルに対する本構成の良好なネットワーク堅牢性を示しています。

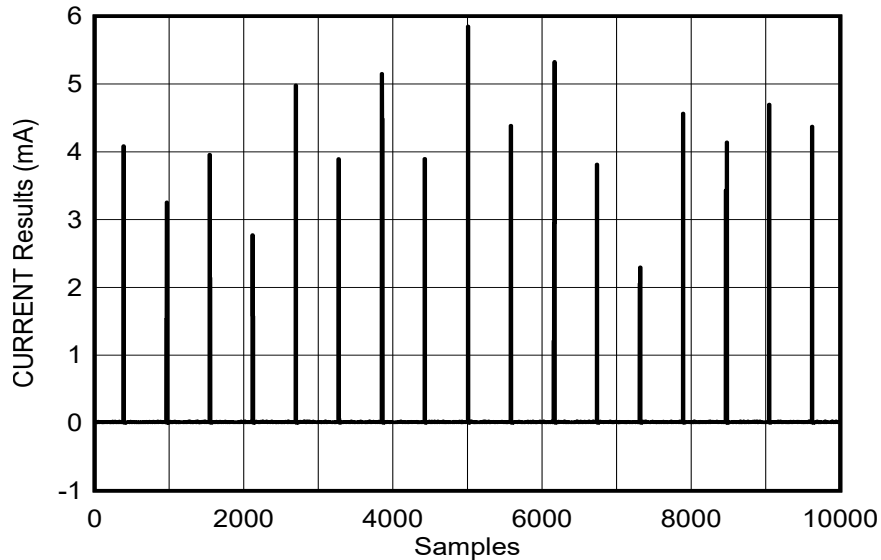
表 3-6. PS および PDR のテスト結果

ノード	WD0	WD1	WD2	WD3	WD4	WD5	WD6	WD7
NumTxSuccessPackets	30001							
NumTxActualPackets	33095							
NumRxMissedPackets	0	0	0	0	0	0	0	1
再試行	225	710	560	643	465	341	609	1396
PDR	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99.997%
PS	99.320%	97.855%	98.308%	98.057%	98.595%	98.970%	98.160%	95.782%

3.4.1.4 低電力モード

ワイヤレス BMS プロトコルは、ネットワークをキープアライブ モードに移行させる機能を提供します。キープアライブ モードは消費電力を最小化するための低電力モードです。キープアライブ モードでは、WM ノードと WD ノードは、設定された wBMS 通信フレーム数によって規定される特定の間隔ごとに断続的に通信を行い、WM ノードが通常動作を再開するまで続きます。WD ノードは、キープアライブ モードに入る際に BQ78706 を自律的にスリープまたはシャットダウンモードに移行させ、キープアライブ モードを終了すると直ちに BQ78706 をウェイクアップできます。

このリファレンスデザインの構成において、キープアライブモードでの 3.3V 電源レールの消費電流を図 3-4 に示します。電流テストには、INA229_239EVM と 10Ω の直列抵抗を使用しています。3.3V 電源レールの平均消費電流は約 70μA です。


図 3-4. WD ノードのキープアライブ モードの消費電力

3.4.2 セル電圧の精度

この設計では、セル電圧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。BQ78706 は、LFP バッテリセルを使用した場合、すでに -40°C から 125°C の範囲で $\pm 2.4\text{mV}$ の精度を達成しているためです。セル電圧の精度は BQ78706 でも同様です。電圧精度仕様を確認するため、[産業用 14 直列スタックابل バッテリ モニタ、バランサ、および ASIL-B 準拠の統合プロテクタである BQ78706 の完全なデータシート](#)を入手してください。

3.4.3 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、GPIO3~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、 $10\text{k}\Omega$ プルアップ抵抗を使用して TMP61 に直接接続されます。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 $10\text{k}\Omega$ プルアップ抵抗、T3 は TMP61 による温度検出です。式 3 を使用して RT3 を計算します。

$$RT3 = \frac{RATIO3}{1 - RATIO3} \times R_{\text{pull}} \quad (3)$$

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

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

ここで、

- $A0 = -2.691712\text{E}+02$, $A1 = 5.062889\text{E}-02$, $A2 = -3.099051\text{E}-06$,
 $A3 = 1.153395\text{E}-10$, $A4 = -1.746912\text{E}-15$

このテストでは、BQ78706 の GPIO3 の読み取りデータは 50.46% です。対応する RT3 は 10185.71Ω です。温度 T3 は 28.1°C です。TMP61 の温度測定精度を向上させるには、アプリケーション ノート「[低コスト TMP6x リニア サーミスタで温度全域にわたり \$\pm 1^{\circ}\text{C}\$ 以上の精度を達成する方法](#)」に記載された手順を参照してください。

3.4.4 サーミスタ マルチプレクサのタイミング

TMUX1308 は、WM から送信されたコマンドによって制御されます。BQ78706#1 のテスト ポイントは、GPIO0、GPIO1、GPIO9、GPIO10、GPIO11 などで、[図 3-5](#) に記載されています。温度検出テストソフトウェアは、[図 2-6](#) の手順に従います。

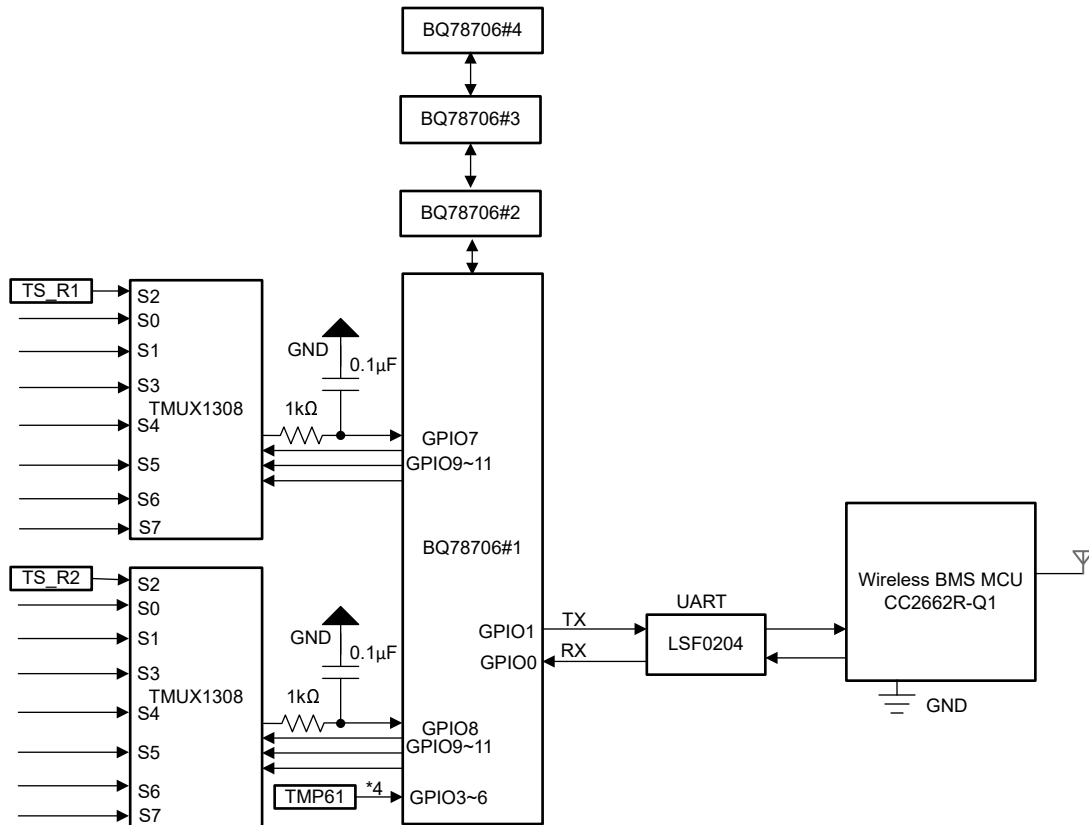


図 3-5. 温度検出のテスト設定

図 3-6 に、MUX による温度検出のタイミングを示します。このテストは、13 個のセル電圧、14 個のサーミスタ、および 2 個の定抵抗に対するポーリング サイクルです。

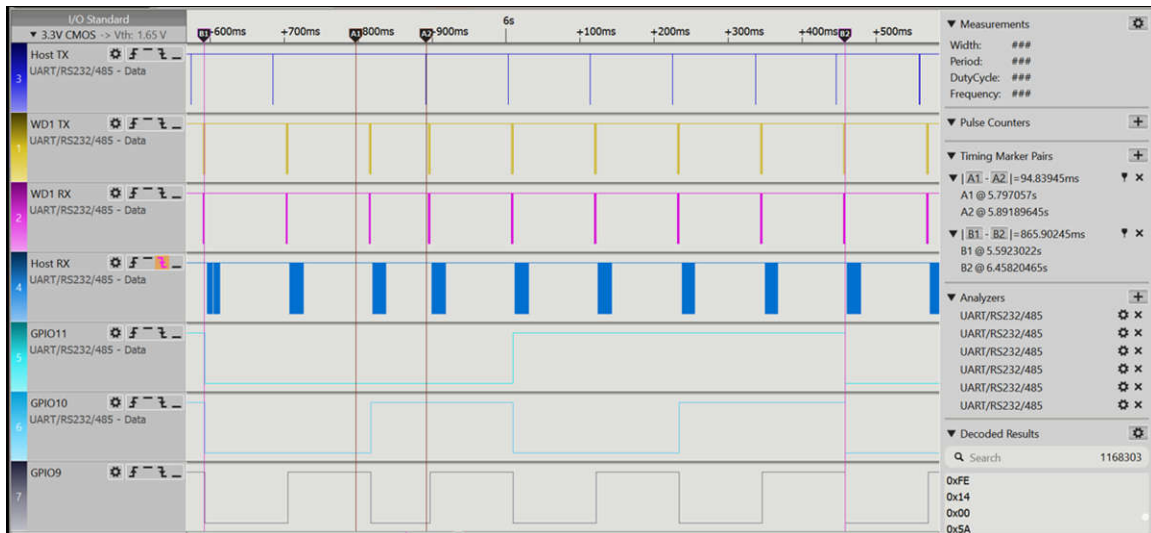


図 3-6. MUX による温度検出タイミング

このテストでは、すべてのサーミスタを読み取るために、100ms 間隔で送信される 8 個のコマンドが必要です。各コマンドには、TMUX1308 のアドレス ラインを設定するためのブロードキャスト書き込みと、8 つの WD ノードにある 32 個すべての BQ78706 デバイスから 13 個のセル電圧および GPIO7 と GPIO8 の比率を読み取るためのブロードキャスト読み取りが含まれます。RS_R2 はチャンネル S2 に接続されており、1kΩ の小さな抵抗値を持ち、超低温の読み取りによって識別できます。図 3-5 では、8 つのステップが順に転送され、ステップ 0 からステップ 7 までの所要時間は 865.9ms であり、

これはすべてのサーミスタを読み取る際の最大レイテンシとなります。レイテンシを短縮するには、コマンドを 100ms 未満の間隔で送信する必要があります。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。

また、GPIO 電圧測定に影響を与える MUX のセトリング過渡を回避するため、アドレスラインを設定するためのブロードキャスト書き込みコマンドより前に、ブロードキャスト読み取りを送信する必要があります。その後、次のブロードキャスト読み取りでは、100ms 間隔後に安定した GPIO 電圧が得られます。

3.4.5 消費電流

図 3-7 は電流消費のテスト セットアップを示しています。キープアライブ モードとアクティブ モードを含む 2 つの動作モードがテストされます。各 BQ78706 の電流消費をテストするために、#S1–3 BQ78706 の VSS ラインと #B0 BQ78706 の BAT ラインが電流測定用のテストポイントとして選択されています。また、電源レールの性能を示すために、電源レールの入力電流と出力電流がテストされます。両方のモードにおいて、抵抗ラダーは DC 電源によって駆動され、この電源を 63V および 150V に設定して実セルをシミュレーションします。6.5 桁のマルチメータを使用して、直列抵抗間の電圧を測定します。最高の精度を得るために、マルチメータは低速モードおよび 10GΩ 入力抵抗に設定されています。

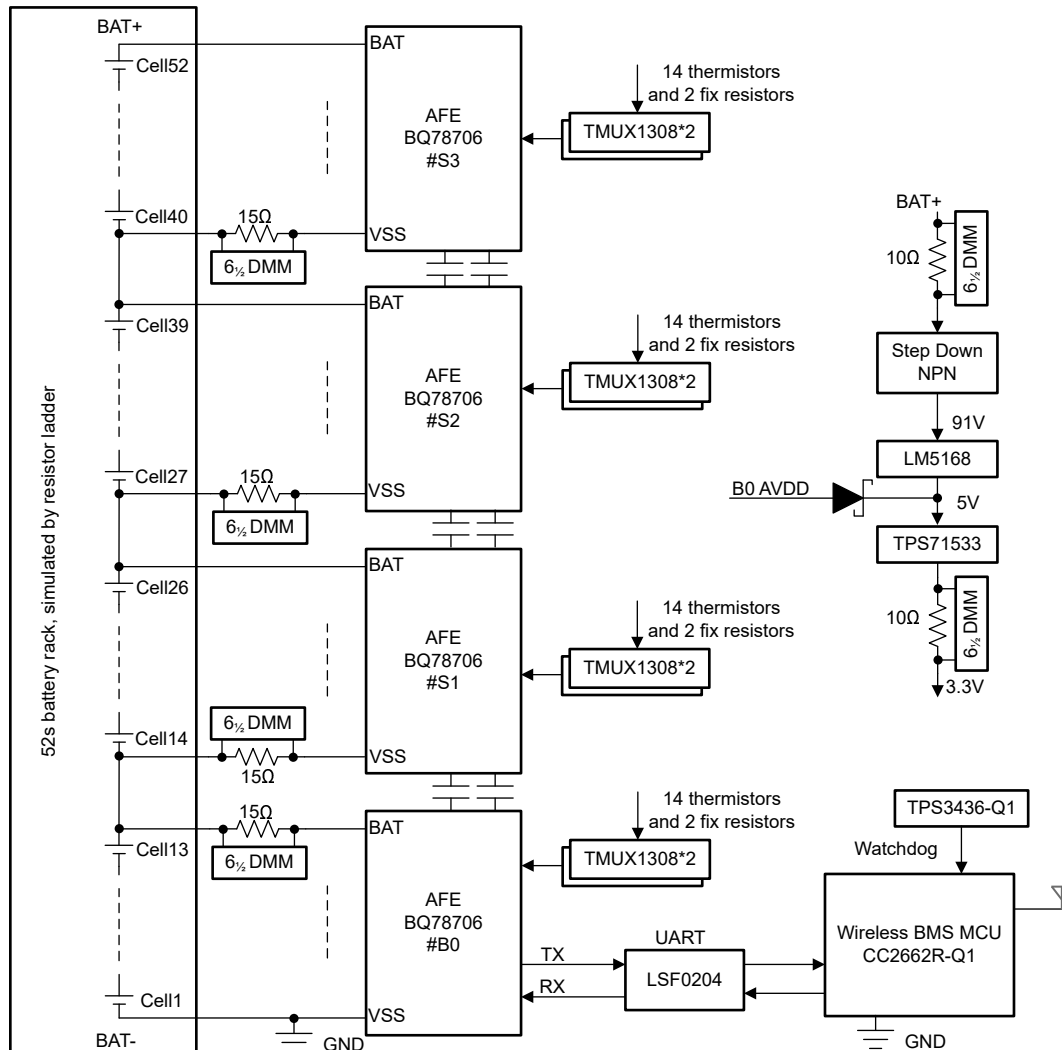


図 3-7. 電流消費テストのセットアップ

アクティブ モードでは、WM が各 WD ノードから 168B のペイロードを持つポーリング コマンドを送信しました。キープアライブ モードでは、BA78706 がシャットダウン モードで動作し、消費電力を最小化します。

表 3-7 に、BMU の消費電流のテスト結果を示します。

表 3-7. 消費電流のテスト結果

入力電圧	テストポイント	電源レール 入力	電源レール 出力	#B0	#S1	#S2	#S3
	作業モード	AVG	AVG	AVG	AVG	AVG	AVG
63Vdc	アクティブ	558.6μA	2.67mA	11.32mA	11.47mA	11.23mA	11.29mA
	キープ アライブ	37.3μA	70.7μA	32.6μA	3.0μA	3.0μA	3.0μA
150Vdc	アクティブ	274.2μA	2.67mA	11.35mA	11.49mA	11.24mA	11.32mA
	キープ アライブ	32μA	70.6μA	32.0μA	3.5μA	3.3μA	3.2μA

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-010976](#) 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-010976](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.3 レイアウト プリント

レイヤ プロットをダウンロードするには、[TIDA-010976](#) 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

[LM5169](#) クイック スタート カリキュレータ
[INA229_239EVM](#)
サーミスタ設計ツール

LM5163 と LM5164 コンバータ クイックスタート デザイン ツール
INA229 / INA239 の評価基板
TMP6-THERMISTOR-DESIGN

ソフトウェア

[CCSTUDIO](#)
[FLASH-PROGRAMMER-2](#)
[Uniflash](#)

Code Composer Studio™ 統合開発環境 (IDE)
SmartRF フラッシュ プログラマ
UniFlash フラッシュ プログラミング ツール

4.3 ドキュメントのサポート

1. テキサス インストルメンツ、『[CC13xx/CC26xx](#) ハードウェア構成および PCB 設計の検討事項』、アプリケーション ノート
2. テキサス インストルメンツ、『[CC13xx](#)、[CC26xx](#)、[CC23xx](#)、[CC27xx](#) ワイヤレス MCU ファミリの水晶発振器および水晶振動子の選択』アプリケーション ノート
3. テキサス インストルメンツ、『[2.4GHz](#) 反転型 F アンテナ』アプリケーション ノート
4. テキサス・インストルメンツ、『[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 [snia049](#)

4.4 サポート・リソース

テキサス・インストルメンツ [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・インスト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・インスト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・インストルメンツの[使用条件](#)を参照してください。

4.5 商標

テキサス インストルメンツの [E2E™](#)、[SimpleLink™](#)、[Code Composer Studio™](#)、and テキサス・インストルメンツ [E2E™](#) are trademarks of Texas Instruments.

Bluetooth® is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc.

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

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。

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