

## Design Guide: TIDA-010268

# ローサイド MOSFET 制御付き 5 から 7 直列バッテリーパックのリファレンス デザイン



### 概要

このリファレンス デザインは、セル電圧精度が高い、5 から 7 直列のリチウムイオンまたはリン酸鉄リチウムイオン (LiFePO4) のバッテリーパック設計です。この設計では、各セルの電圧、パックの電流、セルと金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) の温度を高精度で監視し、リチウムイオンと LiFePO4 のバッテリーパックを、セル過電圧、セル低電圧、過熱、充電時と放電時の過電流、放電時短絡の状態から保護します。この製品は、ハイサイド N チャネル MOSFET アーキテクチャを採用し、オンとオフの強力な駆動能力を確保しています。このリファレンス デザインはこれらの機能を通じて、電動工具や掃除機のバッテリーパックアプリケーションへの高い適応性を実現しています。

### リソース


<a href="#">TIDA-010268</a>	デザイン フォルダ
<a href="#">BQ76905、BQ76907</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">MSPM0L1106、TPSM365R6V5</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">TCAN1042HV</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">TLV704、TMP61</a>	プロダクト フォルダ

### 特長

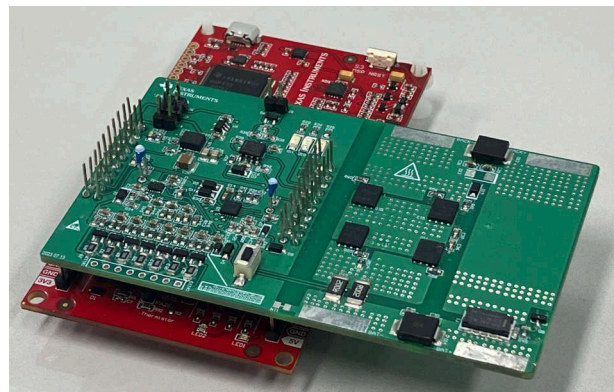
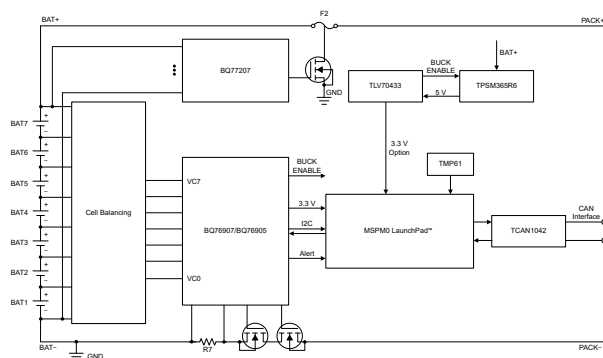
- 5 から 7 セルのリチウムイオンまたは LiFePO4 セルをベースとし、最大 30A の連続放電電流を意図して設計したバッテリーパック (BQ76905 と BQ76907 は最小 2 個のセルに対応可能。適切な変更を加えると、この設計も最小 2 セルのアプリケーションに対応可能)
- セルの電圧、パックの電流、パックの温度を監視し、セルのバランスングを行い、充電/放電 FET を制御してバッテリーパックを保護
- 放電時の過電流、放電時の短絡、過電圧、低電圧に対するハードウェア保護
- 2 次側保護機能を搭載した堅牢なバッテリーセル保護: セルの過電圧、セルの低電圧、過熱
- 超低フットプリント、低オン抵抗、低 Qg、低 Qgd の各 MOSFET をオンボード実装し、ローサイド MOSFET 制御に対応
- 出荷段階で低静止電流と超低消費電力状態を実現

### アプリケーション

- バッテリーパック: コードレス電動工具
- バッテリーパック: 掃除機、ロボット
- その他の産業用バッテリーパック (1s ~ 9s)



テキサス・インスツルメンツの TI 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

電動工具や園芸用器具のバッテリーパックでは、リチウムイオン、リチウムポリマ、リン酸鉄リチウムイオンセルを使用するケースが増えています。この化学物質は、エネルギーの体積密度、重量密度、共に優れています。この化学物質は高いエネルギー密度を実現し、体積と重量を低減するという利点がある一方、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になります。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。

この設計は、電動工具や園芸用器具向けのバッテリーパックアプリケーションに重点を置いており、掃除機のバッテリーパックなど、その他の 5 から 7 セル アプリケーションにも好適です。この設計は、バッテリーパックを安全に使用できるように、1 次側と 2 次側の両方の保護機能を搭載しています。1 次側保護機能は、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、短絡放電時など、あらゆる異常な状況からバッテリーパックを保護します。2 次側保護機能は、独立したセル過電圧保護、断線保護、過熱保護をサポートしています。この設計は、追加の較正なしで、25°C の場合は  $\pm 5\text{mV}$  以内、0°C から 60°C までの場合は  $\pm 10\text{mV}$  以内のセル電圧測定精度を実現できます。

### 1.1 主なシステム仕様

表 1-1. 主なシステム仕様

パラメータ	条件	仕様範囲			単位
		最小値	標準値	最大値	
セル アーキテクチャ	BQ76907	3		7	シリーズ
	BQ76905	3		5	シリーズ
セル バランシング ピーク電流	DC 電圧: 4000 mV		64		mA
充電電流				30	A
放電電流				30	A
セル電圧の精度	25°C			$\pm 5$	mV
	0°C – 60°C			$\pm 10$	mV
パック電流精度	2A 未満				mA
	2A 超				%
1 次側 OV 保護	スレッシュホールド		4200		mV
	遅延		2		s
2 次側 OV 保護	スレッシュホールド		4325		mV
	遅延		1		s
1 次側 UV 保護	スレッシュホールド		2530		mV
	遅延		2		s
OCD 保護 - レベル 1	スレッシュホールド		10		A
	遅延	0.46		1103.795	ms
OCD 保護 - レベル 2	スレッシュホールド		30		A
	遅延	0.46		1103.795	ms
OCC 保護	スレッシュホールド		10		A
	遅延	0.46		1103.795	ms
SCD 保護	スレッシュホールド		100		A
	遅延	8	300	8112	$\mu\text{s}$

表 1-1. 主なシステム仕様 (続き)

パラメータ	条件	仕様範囲			単位
		最小値	標準値	最大値	
過熱保護	充電		55		°C
	放電		60		°C
低温保護	充電		0		°C
	放電		-20		°C
設計全体のシャットダウン モード消費電流			2		μA

**警告**

テキサス・インスツルメンツは、このリファレンス デザインをラボ環境のみで使用することを想定し、この基板を一般消費者向けの完成品とはみなしておりません。

テキサス・インスツルメンツは、このリファレンス デザインを高電圧電気機械部品、システム、およびサブシステムの取り扱いに伴うリスクを熟知した有資格のエンジニアおよび専門家のみが使用することを想定していません。

**表面は高温！** 触れるとやけどの原因になることがあります。**触れないでください！** 一部の部品は、基板に電源を投入すると 55°C 以上の高温に達することがあります。動作中は常に、また電源オフ後すぐは高温になっているため、基板に触れないでください。

**注意**

電源を入れたままその場を離れないでください。

## 2 システム概要

### 2.1 ブロック図

リファレンス デザインには以下のサブブロックが含まれています。

- 1 次側保護デバイスとローサイド FET 回路
- セル バランス回路と 2 次側保護デバイス
- マイコン (MCU) およびコントローラ エリア ネットワーク (CAN) 通信デバイス回路
- 追加のパワー モジュール用の DC/DC と低ドロップアウト (LDO)

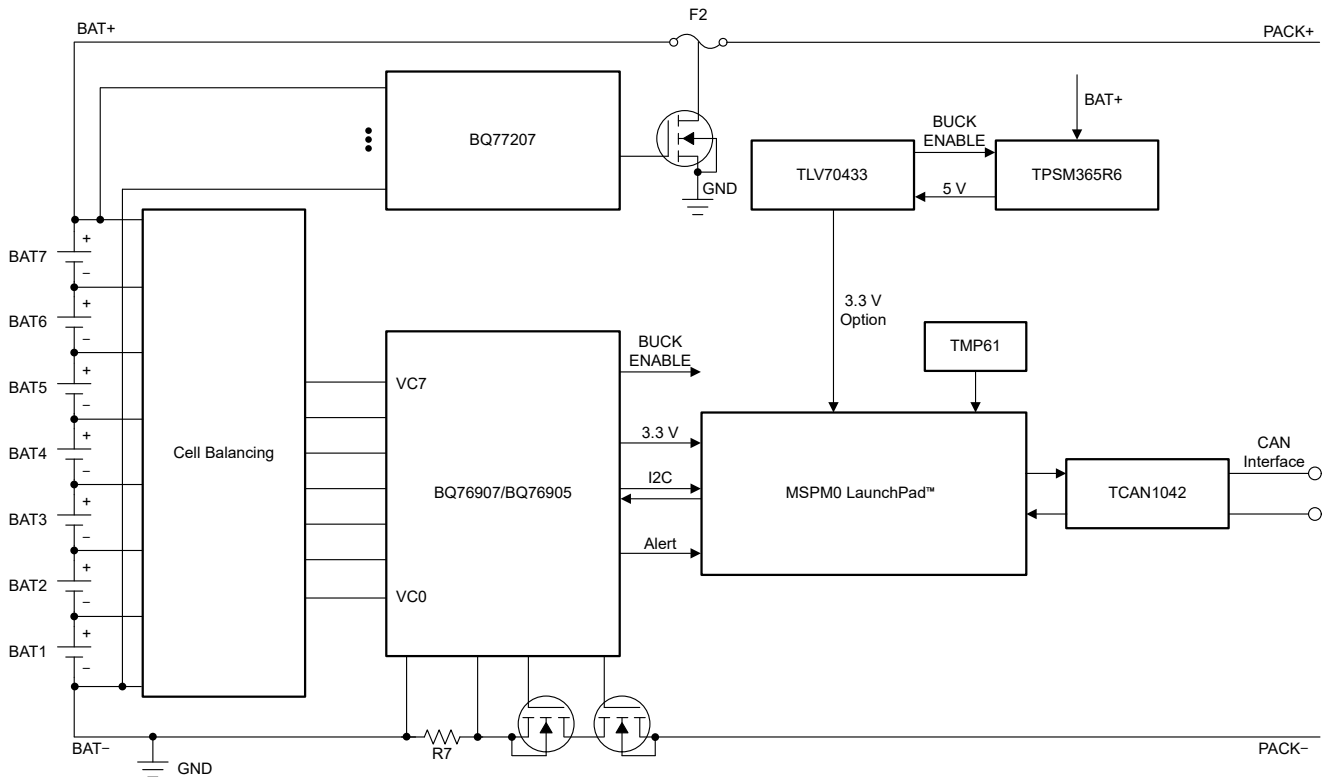


図 2-1. TIDA-010268 のブロック図

### 2.2 主な使用製品

このリファレンス デザインでは、以下の主な製品を使用しています。このリファレンス デザインで使用するデバイスを選択するための主な機能を以下のセクションに示します。主なデバイスの詳細については、それぞれの製品データシートを参照してください。

#### 2.2.1 BQ76907

BQ76907 製品は、2 から 7 直列のリチウムイオン、リチウムポリマ、LiFePO4 バッテリパック用の、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。電圧、電流、温度を高精度で測定し、ホストベースのアルゴリズムと制御のためのデータを取得します。機能が豊富で、高度に構成可能な保護サブシステムは、デバイスにより、またはホストプロセッサの完全な制御下で、完全に自律的にトリガおよび回復が可能な、一連の保護機能を提供します。内蔵 FET ドライバは、ローサイドの充電および放電保護 NFET を駆動します。外部システム用にプログラム可能な LDO が組み込まれており、電圧を 1.8V、2.5V、3.0V、3.3V、5.0V にプログラムでき、最大 20 mA を供給可能です。BQ76907 デバイスは、ワンタイム プログラマブル (OTP) メモリを搭載しています。このメモリは、ホストプロセッサを使用してデバイスを構成できないシステム向けに、デフォルトのデバイス動作設定を構成することができるようにあらかじめプログラムされています。400kHz の I2C 通信インターフェイスとアラート割り込み出力により、ホストプロセッサとの通信が可能です。このデバイスは、1 つの外部サーミスタに加えて、内部ダイ温度測定機能をサポートしています。

## 2.2.2 BQ76905

BQ76905 製品は、2 から 5 直列のリチウムイオン、リチウムポリマ、LiFePO<sub>4</sub> バッテリー パック用の、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。電圧、電流、温度を高精度で測定し、ホスト ベースのアルゴリズムと制御のためのデータを取得します。機能が豊富で、高度に構成可能な保護サブシステムは、デバイスにより、またはホスト プロセッサの完全な制御下で、完全に自律的にトリガおよび回復が可能な、一連の保護機能を提供します。内蔵 FET ドライバは、ローサイドの充電および放電保護 NFET を駆動します。外部システム用にプログラム可能な LDO が組み込まれており、電圧を 1.8V、2.5V、3.0V、3.3V、5.0V にプログラムでき、最大 20 mA を供給可能です。BQ76905 デバイスは、ワンタイム プログラマブル (OTP) メモリを搭載しています。このメモリは、ホスト プロセッサを使用してデバイスを構成できないシステム向けにあらかじめプログラムされており、デフォルトのデバイス動作設定を構成することができます。400kHz の I<sup>2</sup>C 通信インターフェイスとアラート割り込み出力により、ホスト プロセッサとの通信が可能です。このデバイスは、1 つの外部サーミスタに加えて、内部ダイ温度測定機能をサポートしています。

## 2.2.3 BQ77207

BQ77207 デバイス ファミリーは、過電圧 (OVP)、低電圧 (UVP)、断線 (OW)、過熱 (OT) 保護など、リチウムイオン バッテリー パック システムのための幅広い電圧および温度監視機能を提供します。各セルの過電圧、低電圧、断線条件を別々に監視できます。外部 NTC サーミスタを追加すると、本デバイスは過熱条件を検出できます。過電圧、低電圧、断線、過熱のいずれかの条件を検出すると、内部遅延タイマーが起動します。遅延タイマーが終了すると、各出力はアクティブ状態 (構成により HIGH または LOW) にトリガされます。フォルトが検出された場合、過電圧であれば COUT ピンがトリガされ、低電圧であれば DOUT ピンがトリガされます。低温、過熱または断線フォルトが検出されると、DOUT と COUT の両方がトリガされます。

## 2.2.4 MSPM0L1106

MSPM0L110x マイクロコントローラ (MCU) は、最高 32MHz の周波数で動作する拡張 Arm<sup>®</sup> Cortex<sup>®</sup>-M0+ コア プラットフォームに基づく、MSP 高集積超低消費電力 32 ビット MSPM0 MCU ファミリーに属する製品です。コスト最適化されたこれらの MCU は高性能アナログ ペリフェラルを統合し、-40°C から 105°C の拡張温度範囲をサポートしており、1.62V から 3.6V の電源電圧で動作します。MSPM0L110x デバイスは、4KB SRAM 付きの最大 64KB 内蔵フラッシュ プログラム メモリを提供します。これらの MCU は ±1.2% の精度の高速オンチップ発振器を内蔵しているため、外部水晶振動子は不要です。追加機能には、3 チャンネル DMA、16 および 32 ビット CRC アクセラレータ、各種の高性能アナログ ペリフェラル (1 つの設定可能内部リファレンス電圧付き 12 ビット 1.68Msps ADC、1 つの汎用アンプ、1 つのオンチップ温度センサなど) が含まれます。これらのデバイスは、4 つの 16 ビット汎用タイマー、1 つのウィンドウ付きウォッチドッグ タイマー、各種通信ペリフェラル (2 つの UART、1 つの SPI、1 つの I<sup>2</sup>C など) といったインテリジェントなデジタル ペリフェラルも備えています。これらの通信ペリフェラルは LIN、IrDA、DALI、マンチェスター、スマートカード、SMBus、PMBus プロトコルをサポートしています。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、さまざまなレベルのアナログおよびデジタル回路を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。そのアーキテクチャと豊富な低消費電力モードは、携帯型測定アプリケーションで長いバッテリー駆動時間を実現するように最適化されています。

## 2.2.5 TCAN1042

この CAN トランシーバ ファミリーは、ISO11898-2 (2016) 高速コントローラ エリア ネットワーク (CAN) の物理層規格に適合しています。すべてのデバイスが、最大 2Mbps (メガビット/秒) の CAN FD ネットワークで使用するように設計されています。部品番号に接尾辞として「G」が含まれているデバイスは最大 5Mbps のデータレート用に設計されており、接尾辞「V」が付いたバージョンのデバイスは I/O レベル用の二次電源入力があり、入力ピンのスレッショルドと RXD 出力レベルをシフトします。このデバイス ファミリーは、リモート ウェイク要求機能により、スタンバイ モードでの消費電力を低く抑えています。さらに、デバイスとネットワークの堅牢性の強化のため、すべてのデバイスに多くの保護機能が組み込まれています。

## 2.2.6 TPSM365R6V5

TPSM365R6 は、3V から 65V の電源電圧で動作する使いやすい同期整流降圧 DC/DC 電源モジュールです。このデバイスは、5V、12V、24V、48V の電源レールからの降圧変換を目的としています。電源コントローラ、インダクタ、MOSFET を内蔵した TPSM365R6 または TPSM365R3 は、非常に小さな設計サイズで、最大 600mA の DC 負荷電流を高効率、超低入力静止電流で供給します。このデバイスは実装が簡単になるように設計されていますが、対象アプリケーションに応じて使用を最適化する柔軟性があります。制御ループ補償は不要で、設計時間の短縮と外部部品点数の減少につながります。TPSM365Rx は、幅広いスイッチング周波数とデューティ比で動作可能です。最小オン時間またはオフ時間が目的のデューティ比をサポートできない場合は、スイッチング周波数が自動的に低下し、出力電圧レギュレーションが維持されます。適切な内部ループ補償により、TPSM365Rx のシステム設計時間を大幅に短縮し、外付け部品を最小限に抑えることができます。さらに、遅延リリース機能を備えた PGOOD 出力機能により、多くのアプリケーションでリセット スーパーバイザを不要にできます。RT ピンまたは外部クロック信号を使用した 200kHz から 2.2MHz のプログラマブル スwitching 周波数。これらの機能により、幅広い範囲のアプリケーションに対応した柔軟で使いやすいプラットフォームを可能にします。ピン配置はレイアウトが単純になるよう設計されており、必要な外付け部品はほとんどありません。

## 2.2.7 TLV704

TLV704 シリーズの低ドロップアウト (LDO) レギュレータは、極端に電力に敏感なアプリケーション用に設計された、超低静止電流デバイスです。静止電流は、負荷電流と周囲温度の全範囲にわたって事実上一定です。これらのデバイスは、MSP430™ MCU などの低消費電力マイコンの優れたパワー マネージメント用付属機器です。TLV704 は 2.5V から 24V と広い入力電圧範囲で動作するため、バッテリー駆動のシステムにも、大きなライン過渡が発生する産業用アプリケーションにも好適です。TLV704 は 3mm × 3mm の SOT23-5 パッケージで供給され、コスト効率の優れた基板製造に最適です。

## 2.2.8 TMP61

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 TMP61 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、サイズが 0402、0603、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 システム設計理論

#### 3.1 1 次側保護設計

1 次側保護の設計については (BQ7690x)、データシートに記載されている設計上の推奨事項に従ってください。

さらに、短絡後の BAT および REGOUT の電圧降下を防止するため、D2 および D16 を追加しました。

TS ピンの最大耐圧が 2.1V であるため、TS ピンのウェークアップ回路が追加されました。電圧レギュレータおよび保護機能として、D7 および D8 が追加されました。Cell1 の電圧は S1 がトリガされた瞬間に変動します。ウェークアップ後、電圧監視は通常動作に戻ります。

この設計では、バランシング回路も設計されています。この設計では、VC0 から VC7 の入力として 100Ω と 220nF を選択しています。(外部セル入力抵抗 x 外部入力容量を 200μs 以下に制限してください。また、入力抵抗の推奨値は 10Ω で、これが大きすぎるとサンプリング精度に影響を与えることに注意してください。)外部バランシング回路設計の詳細については、アプリケーション ノート『BQ769x2 バッテリ モニタを使用したセル バランシング』を参照してください。

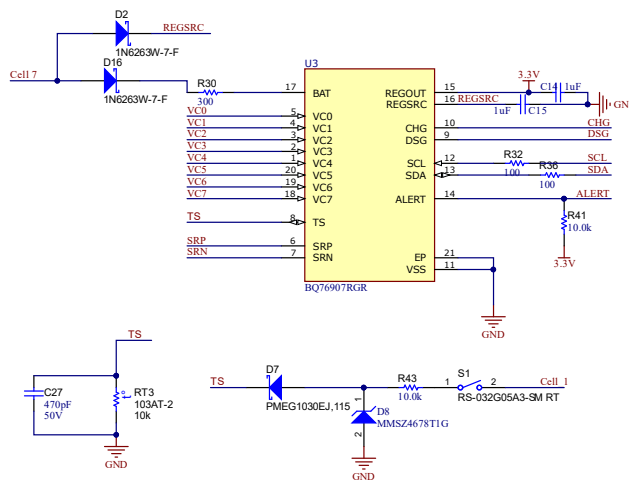


図 3-1. 1 次側保護設計回路

#### 3.2 2 次側保護

また、この設計では独立した 2 次側保護設計も追加されています。この設計では、過電圧および過熱保護の目的で COUT を使用しています。デバイスが RIN 値 = 1kΩ を使用して較正されているため、2 次側保護 BQ77207 は RC を 1 次側保護と共有できません。この推奨値以外の値を使用すると、セル電圧測定の精度と V<sub>OV</sub> トリガレベルが変更されません。

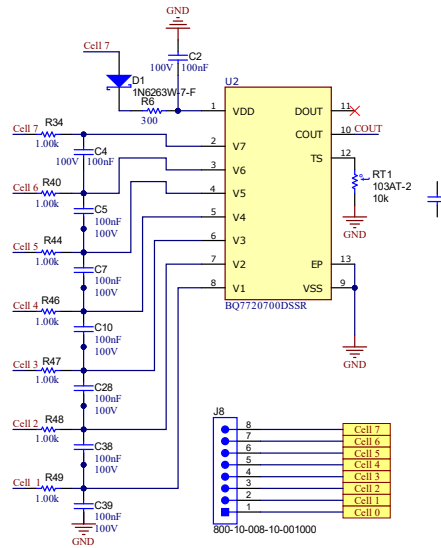


図 3-2. 2 次側保護設計回路

### 3.3 その他の回路設計

メイン電流ループでは、この設計により PACK インターフェイスに D12 電圧レギュレータ チューブが配置され、システム内のストリング数に応じて電圧レギュレータ チューブのパラメータを選択できます。また、この設計ではダイオード D13 も配置されており、PACK 端子が短絡した後にクランプを行うことができます。C29 および C31 (ESD 電流の方向を変更するよう設計された ESD コンデンサ) も追加されました。これら 2 個は、いずれかが破損または短絡した場合の冗長性を目的としています。

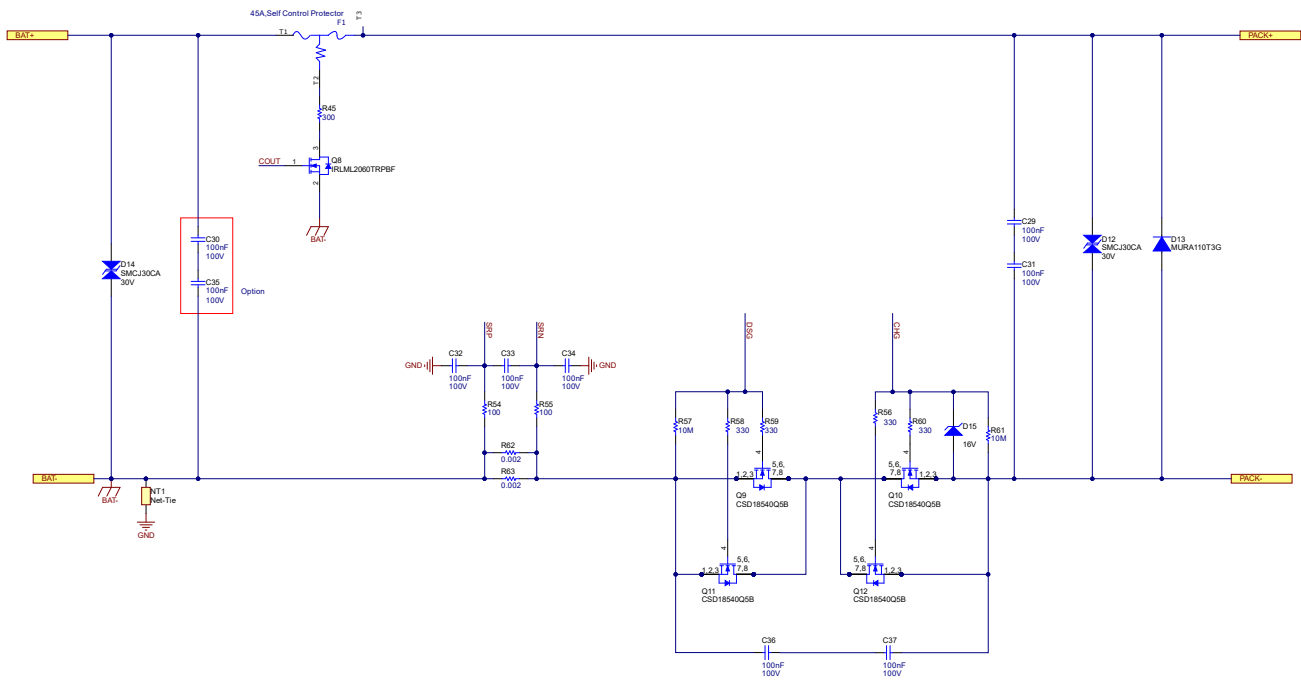


図 3-3. その他の回路設計



## 4 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

### 4.1 ハードウェア要件

図 4-1 に、TIDA-010268 の基板上にあるさまざまな部品を示します。以下に、これらの部品について説明します。

- コネクタ J2 および J3: このコネクタは、MSPM0 LaunchPad™ 開発キットと接続するように設計されています。MSPM0 LaunchPad または個別の制御との直接接続 (I2C を EV2400 に接続して BQ Studio を制御するなど) が可能です。
- コネクタ J4: J4 を短絡すると、BQ7690x による 3.3V 出力が J2 の 3.3V ピンに供給できるようになります。
- コネクタ J5: CAN インターフェイスに接続し、この 5V 降圧イネーブルを使用する。
- コネクタ J6: J6 を短絡すると、TLV704 の 3.3V 出力が 3.3V の J2 ピンに電流を供給できるようになります。(TLV704 を使用する場合は、最初に TPSM365R6V5RDNR をイネーブルにします。)
- コネクタ J7: J6 を短絡すると、TPSM365R6V5RDNR の 5V 出力が J2 の 5V ピンに電流を供給できるようになります。(TPSM365R6V5RDNR を使用する場合は、J2:BUCK EN ピンを HIGH に設定します。)
- コネクタ J8: バッテリーセルコネクタ。Cell7 から Cell1 を左から右に接続します。使用するセルが 7 セル未満の場合は、『BQ76907、2 から 7 直列、リチウムイオン、リチウムポリマ、LiFePO4 (LFP)、LTO バッテリーパック用、高精度バッテリー モニタおよびプロテクタ』データシートに従って、対応するピンを短絡します。

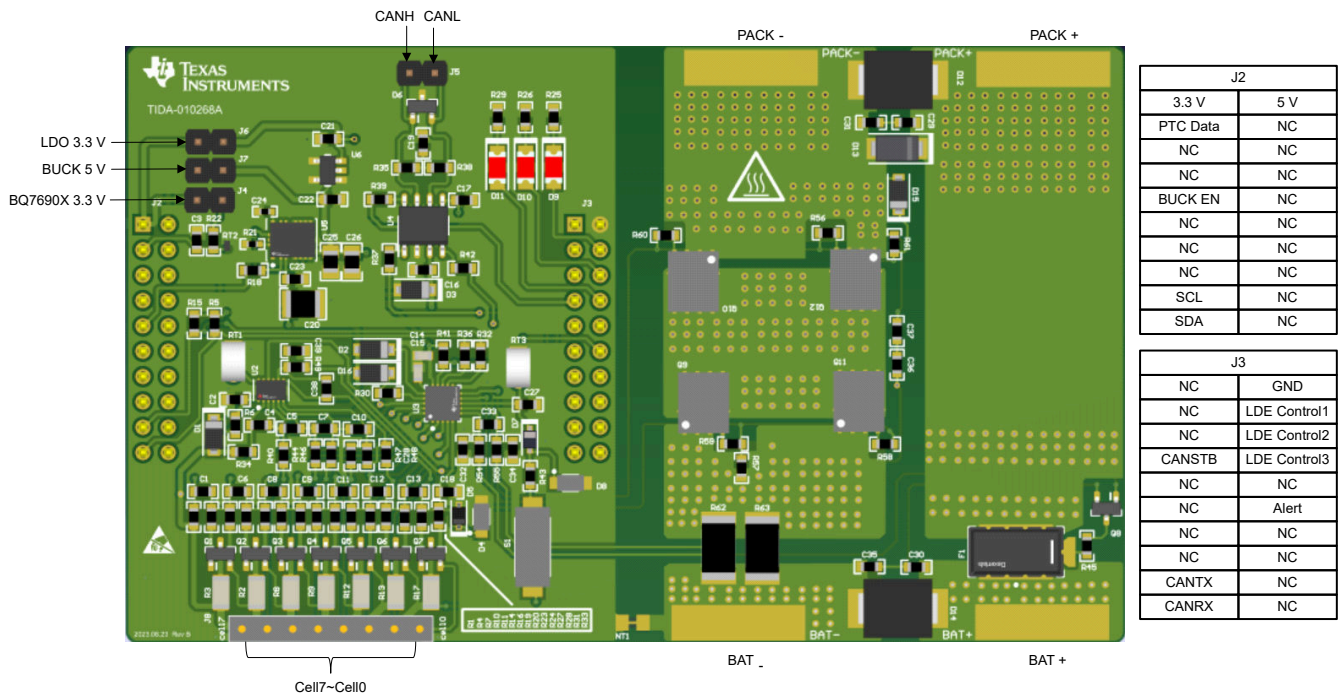


図 4-1. ハードウェア基板の概要

### 4.2 ソフトウェア要件

ソフトウェア ファイルをダウンロードするには、テキサス・インスツルメンツの販売代理店にお問い合わせください。

### 4.3 テスト設定

基板の起動とテストについては、以下の手順に従ってください。また、図 4-1 も参照してください。

- Cell7 から Cell1 を J8 の左から右に接続します。使用するセルが 7 セル未満の場合は、BQ76907 と BQ76905 のデータシートに従って、対応するピンを短絡します。
- BAT+ を Cell7 に、BAT- を Cell0 に接続します。
- MSPM0L1306 LaunchPad を使用して J2、J3 に接続するか、J2:I2C ピンを EV2400 に接続してパーソナル コンピュータ (PC) につなぎます。
- 必要に応じて、J5、J6、J7、J8 のどれに接続するかを選択します。

- PACK+ または PACK- の負荷を接続します

放電と充電テストのセットアップはテキサス・インスツルメンツのラボで実施しました。

図 4-2 に、充電プロセスの設定例を示します。DC 電源 1 の構成: 22V - 3A。DC 電源 2 の構成: 18V - 0.5A。電子負荷の構成: 18V CV モード (5s テスト用)。

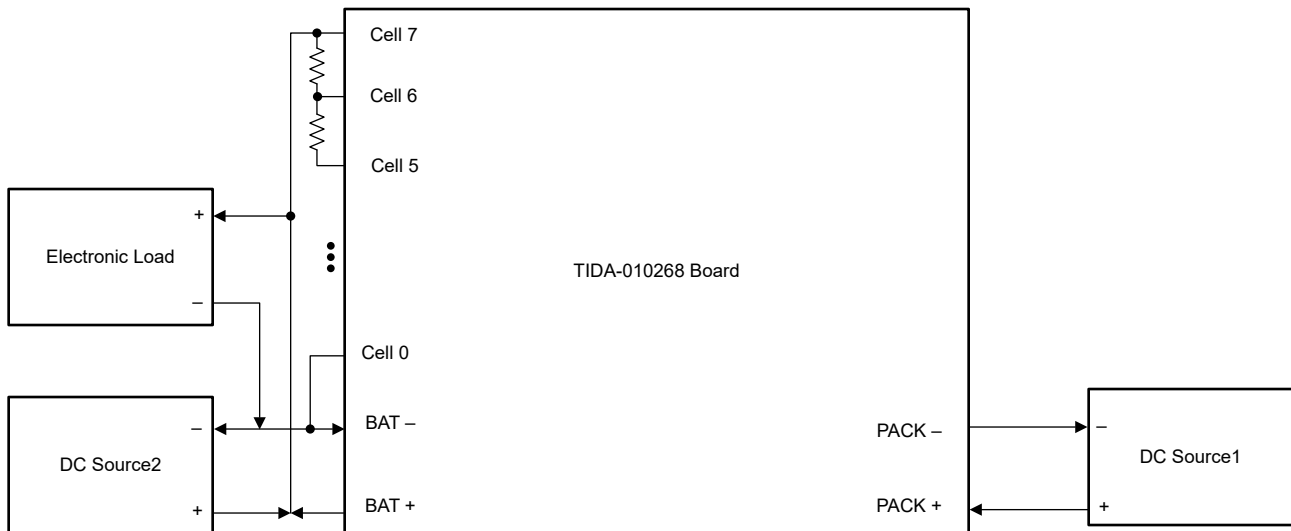


図 4-2. 充電設定

図 4-3 に、放電プロセスの設定例を示します。DC 電源 1 の構成: 18V - 10A。電子負荷の構成: CC モード。

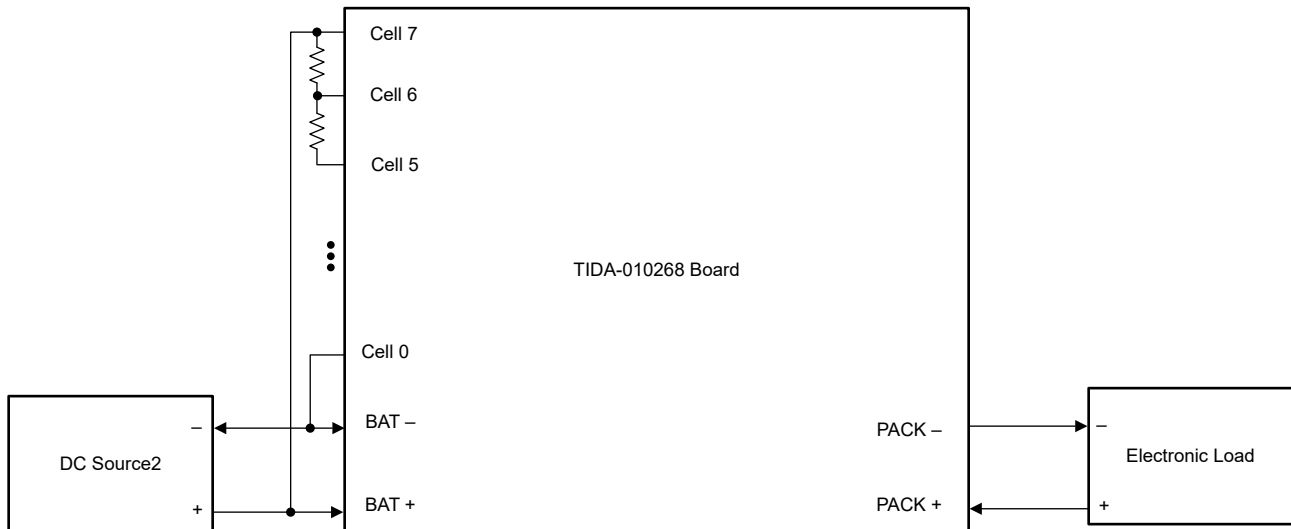


図 4-3. 放電設定

## 4.4 テスト結果

### 4.4.1 セル電圧の精度

セル電圧の精度をテストする場合、抵抗分割器を使用してバッテリーセルをシミュレートしないでください。ADC 測定を行うときは、セルの入力ピンに電流が流れるため、抵抗分割器が原因でさらに電圧降下が生じ、AFE の測定値が実際の値よりも小さくなります。この設計では、精度テストの目的でバッテリーシミュレータを使用しています。追加の較正を行っていない、室温でのセル電圧精度データを表 4-1 に示します。セルのすべてのチャンネルの電圧誤差は  $\pm 5\text{mV}$  未満です。

表 4-1. セル電圧の精度データ

測定電圧 (mV)	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 6 (mV)	Cell 7 (mV)	CELL ERROR 1 (mV)	CELL ERROR 2 (mV)	CELL ERROR 3 (mV)	CELL ERROR 4 (mV)	CELL ERROR 5 (mV)	CELL ERROR 6 (mV)	CELL ERROR 7 (mV)
2000	2000	2000	1999	2000	2000	2000	2000	0	0	-1	0	0	0	0
2250	2250	2250	2249	2250	2249	2250	2250	0	0	-1	0	-1	0	0
2500	2500	2500	2499	2500	2500	2499	2500	0	0	-1	0	0	1	0
2750	2750	2750	2749	2750	2749	2750	2750	0	0	-1	0	-1	0	0
3000	3000	2999	2999	3000	2999	3000	3000	0	-1	-1	0	-1	0	0
3250	3250	3248	3249	3250	3249	3250	3250	0	-2	-1	0	-1	0	0
3500	3499	3498	3499	3500	3499	3499	3500	-1	-2	-1	0	-1	1	0
3750	3749	3748	3749	3750	3749	3750	3750	-1	-2	-1	0	-1	0	0
4000	3999	3998	3999	4000	3999	3999	4000	-1	-2	-1	0	-1	1	0
4250	4249	4248	4249	4250	4249	4249	4250	-1	-2	-1	0	-1	1	0

#### 4.4.2 パック電流精度

この設計では、2 個の並列 2mΩ、2W、50PPM シャント抵抗を使用して、パック電流を測定します。基板オフセットは、データシートのキャリブレーション セクションのガイダンスを使用して較正されています。次に、2A の放電電流で電流ゲインを較正しました。OTP を使用してボード オフセットと電流ゲインの値を BQ7690X に書き込みます。それ以外の場合は、MCU 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、BQ7690X 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 4-4 に示します。最大電流誤差は、放電電流が 3A 未満のとき約 ±10mA、放電電流が 3A を超えるとき約 ±0.5% です。

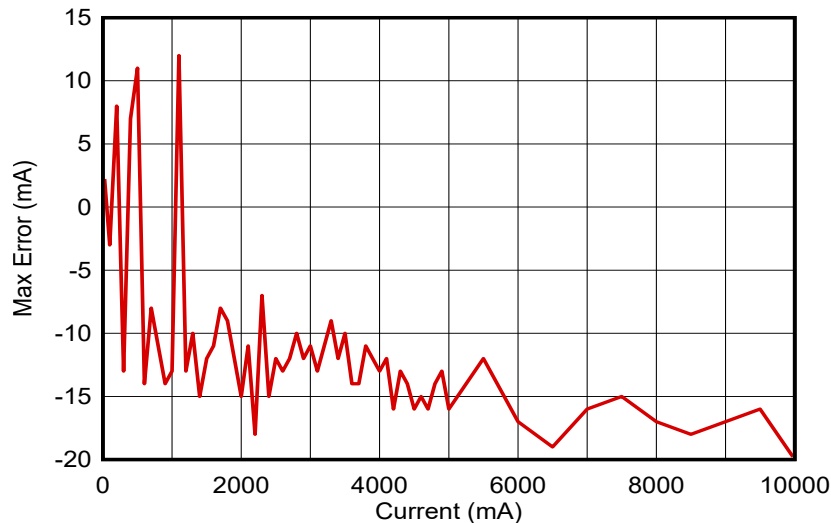
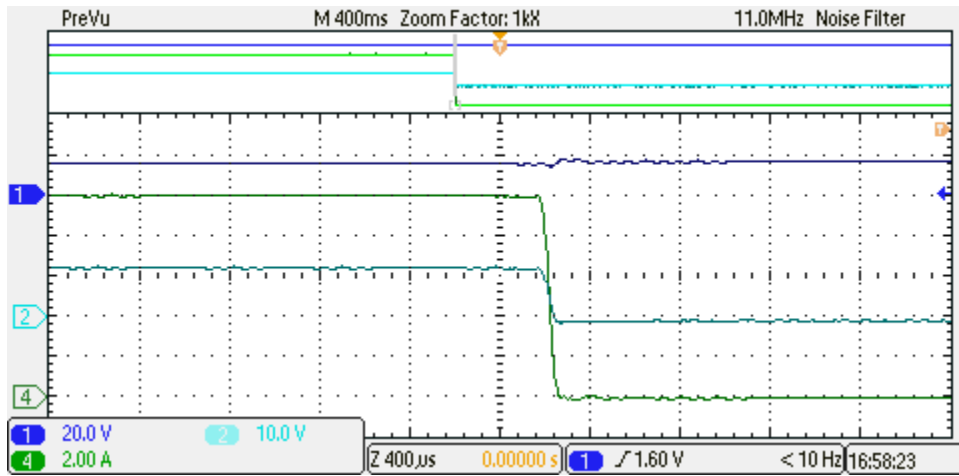


図 4-4. パック電流精度

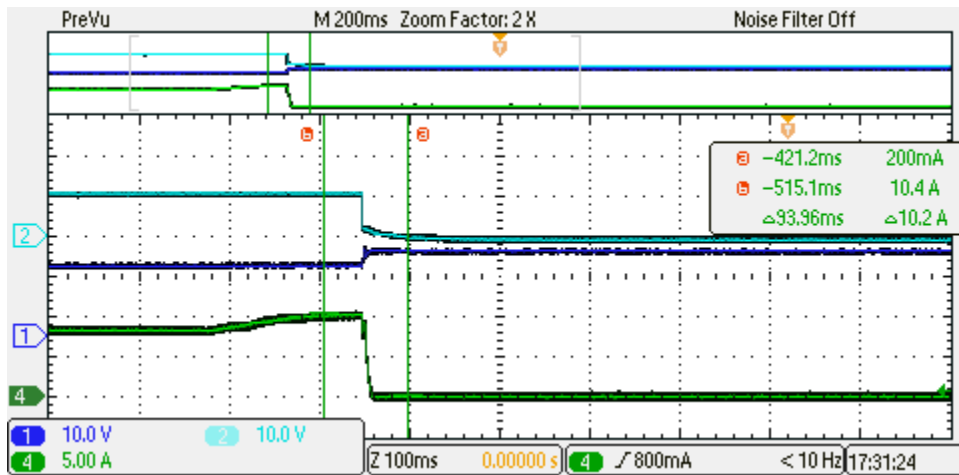
#### 4.4.3 保護

この設計には、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、過熱および低温保護など、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、この設計では、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、過熱などのシステム レベルのフォルトの喪失も監視します。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。



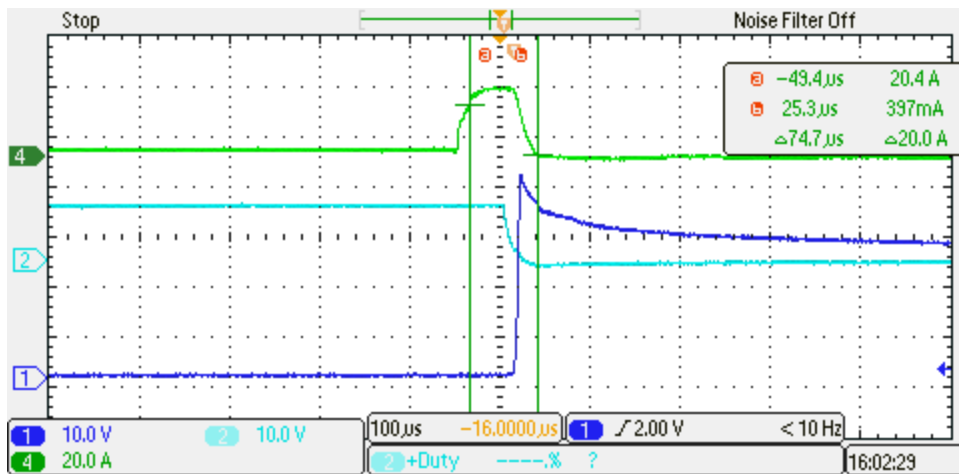
CH1 (青): バッテリ電圧、CH2 (シアン): DSG V<sub>gs</sub>、CH4 (緑): 放電電流

図 4-5. 過電流放電 (スレッシュホールドを 10A に設定)



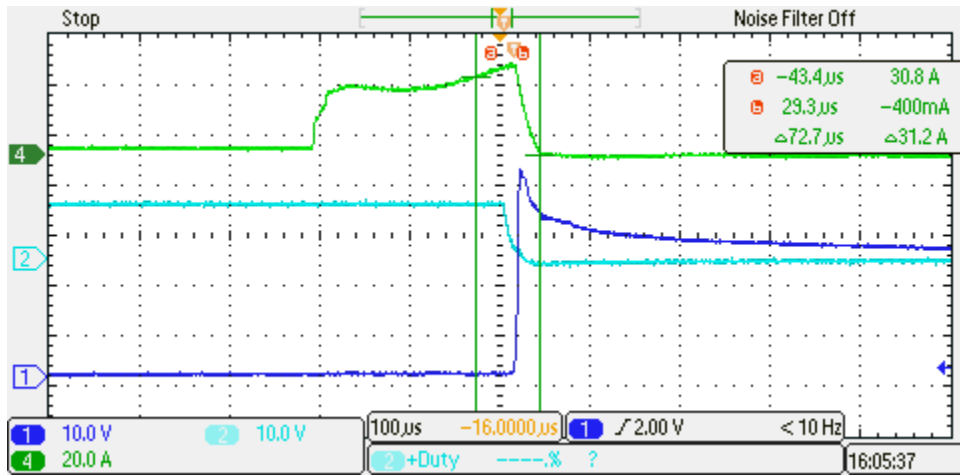
CH1 (青): バッテリ電圧、CH2 (シアン): DSG V<sub>gs</sub>、CH4 (緑): 放電電流

図 4-6. 過電流充電 (スレッシュホールドを 10A に設定)



CH1 (青): DSG V<sub>ds</sub>、CH2 (シアン): DSG V<sub>gs</sub>、CH4 (緑): 放電電流

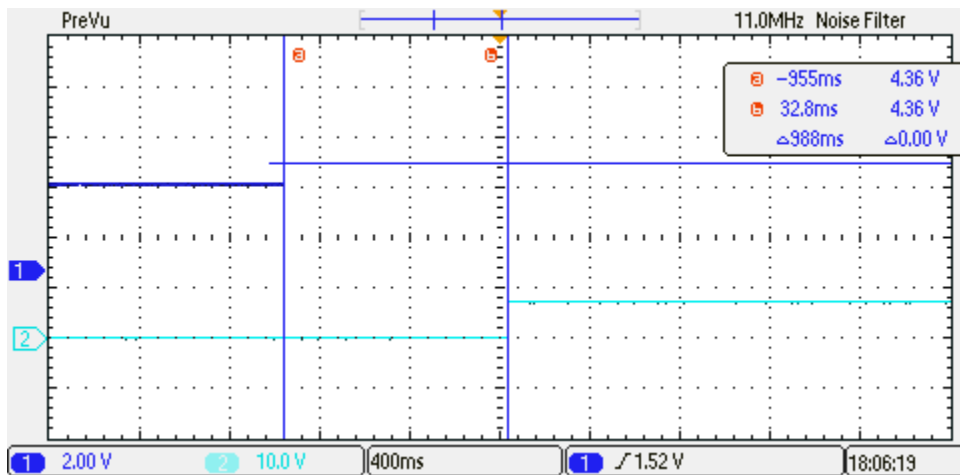
図 4-7. 放電短絡 (スレッシュホールドを 20A に設定)



CH1 (青):DSG V<sub>ds</sub>, CH2 (シアン):DSG V<sub>gs</sub>, CH4 (緑):放電電流

図 4-8. 放電短絡 (スレッシュホールドを 30 A に設定)

このデザインには、各セルの過電圧および過熱による危険を防止するための個別の 2 次側保護機能も搭載されています。これにより、追加作業なしで、いくつかの安全規制に合格することができます。2 次側過電圧保護機能は、テキサス・インスツルメンツのラボでテスト済みです。



CH1 (青):Cell 1 電圧, CH2 (シアン):VcOUT

図 4-9. 2 次側過電圧保護

#### 4.4.4 セル バランシング

この設計基板は、トライオードを使用した外部セル バランシングをサポートしています。ピーク平衡化電流は 4V のセル電圧で 64mA であり、約 50mA が外付けのバランシング抵抗を流れ、約 14mA が BQ7690x デバイスを流れます。バッテリーバランシングは、コマンドによってのみトリガできます。図 4-10 に、外部セル バランシング性能を示します。セルバランシングのデューティは約 82% です。

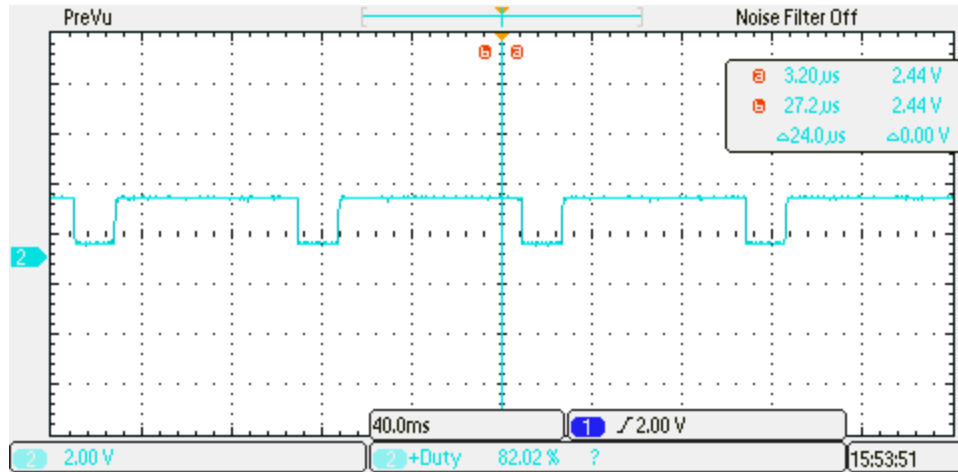
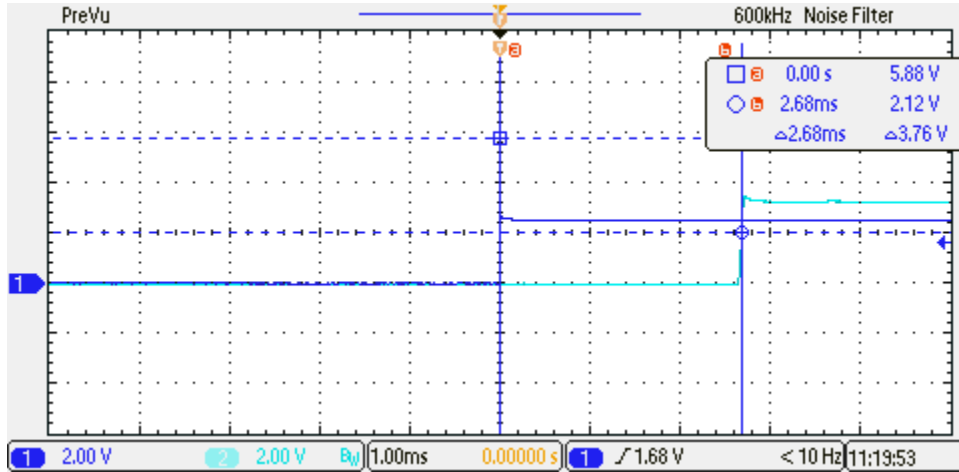


図 4-10. 外部セル バランシング

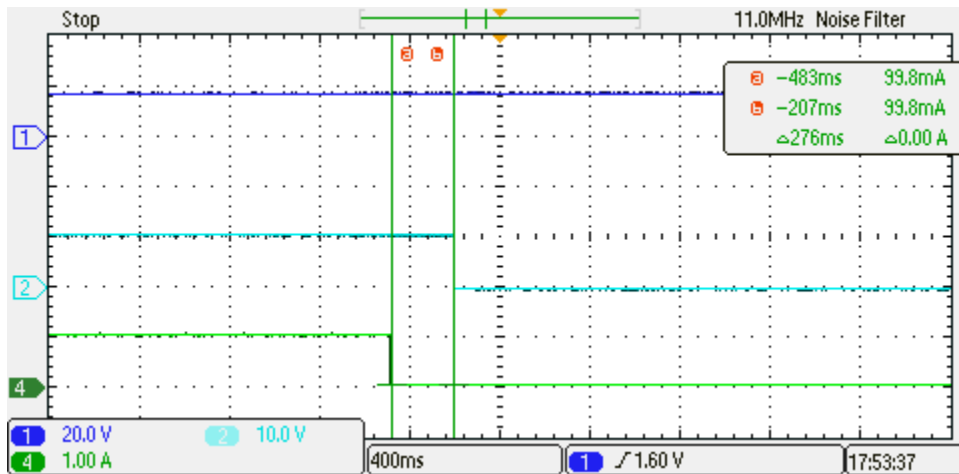
#### 4.4.5 動作モードの遷移

BQ76905 には、通常モード、スリープモード、ディープスリープモード、シャットダウンモードの4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。スリープモードとは、充電も放電も行わず、パックが充電器または負荷の接続を待機しているときのことです。ディープスリープモードは消費電流の小さいモードで、内部LDOがアクティブになっており、マイコンに電力を供給し続けることができます。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。このモードは、外部トリガによってのみウェークアップします。図 4-11 から図 4-14 に、さまざまな動作モードの遷移を示します。



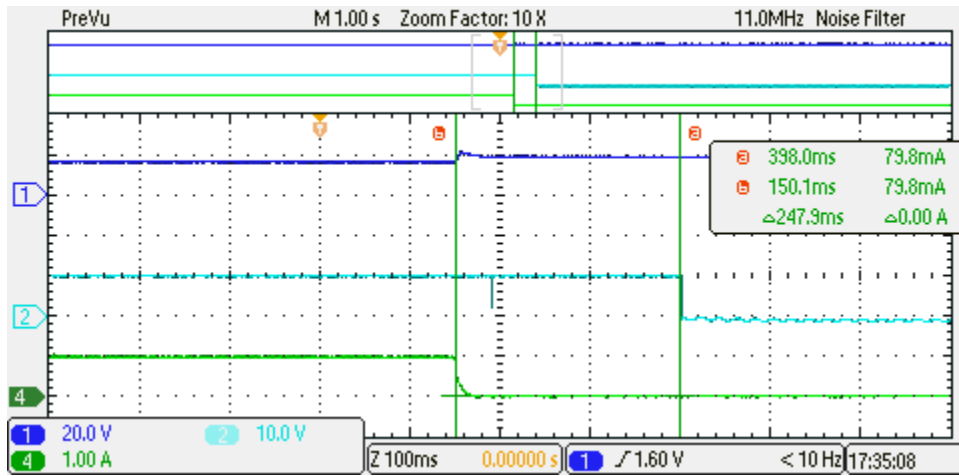
CH1 (青):トリガ信号、CH2 (シアン):3.3V 出力

図 4-11. ディープスリープモードから通常モードへ



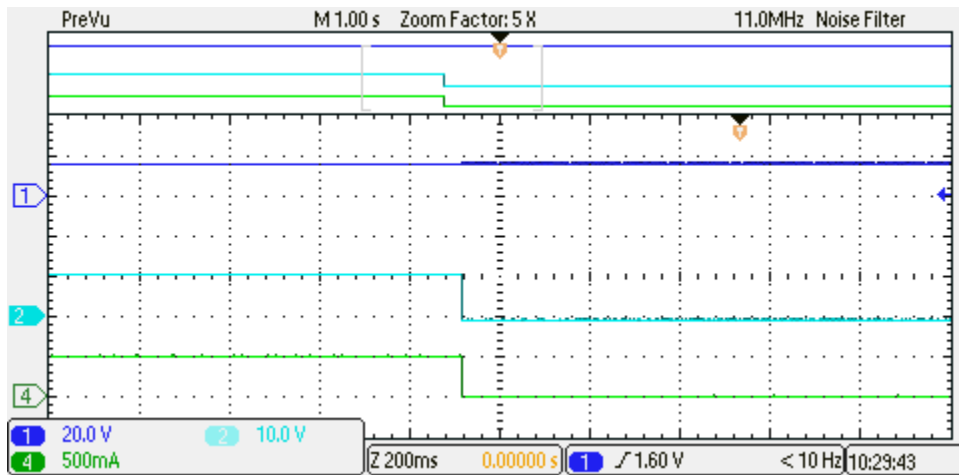
CH1 (青):バッテリー電圧、CH2 (シアン):DSG V<sub>gs</sub>、CH4 (緑):放電電流

図 4-12. 放電モードからスリープモードへ



CH1 (青): バッテリ電圧、CH2 (シアン): CHG V<sub>gs</sub>、CH4 (緑): 充電電流

図 4-13. 充電モードからスリープモードへ



CH1 (青): バッテリ電圧、CH2 (シアン): CHG V<sub>gs</sub>、CH4 (緑): 充電電流

図 4-14. ディープスリープモードへの充電 (I2C コマンドによりディープスリープモードに移行)



#### 4.4.6 熱性能

図 4-15 および 図 4-16 に、18V<sub>DC</sub> (放電電流約 15A) での熱テストにおける電流波形、および熱画像を示します (緑:放電電流、青:DSG V<sub>gs</sub>)。

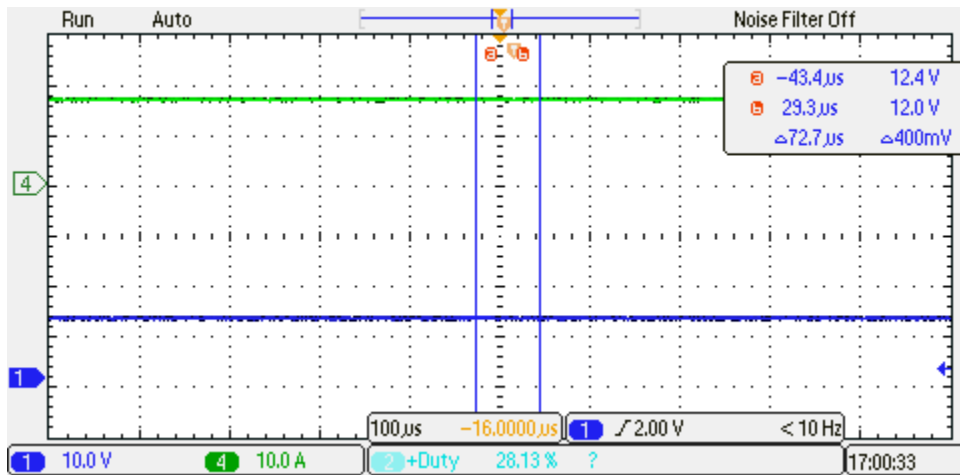


図 4-15. 15A での放電



図 4-16. 15A 放電時の熱画像

図 4-17 および 図 4-18 に、18V<sub>DC</sub> (放電電流約 30A) での熱テストにおける電流波形、および熱画像を示します (緑: 放電電流、青: DSG V<sub>gs</sub>、シアン: バッテリ電圧)。

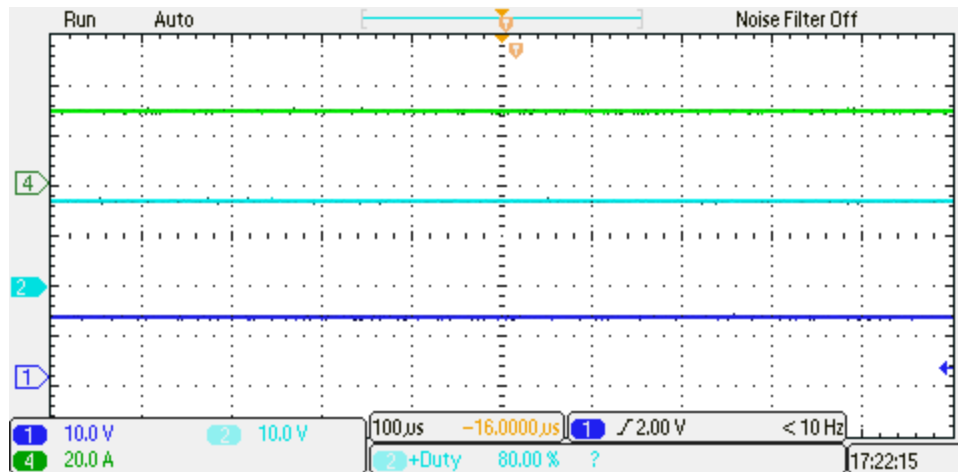


図 4-17. 30 A での放電

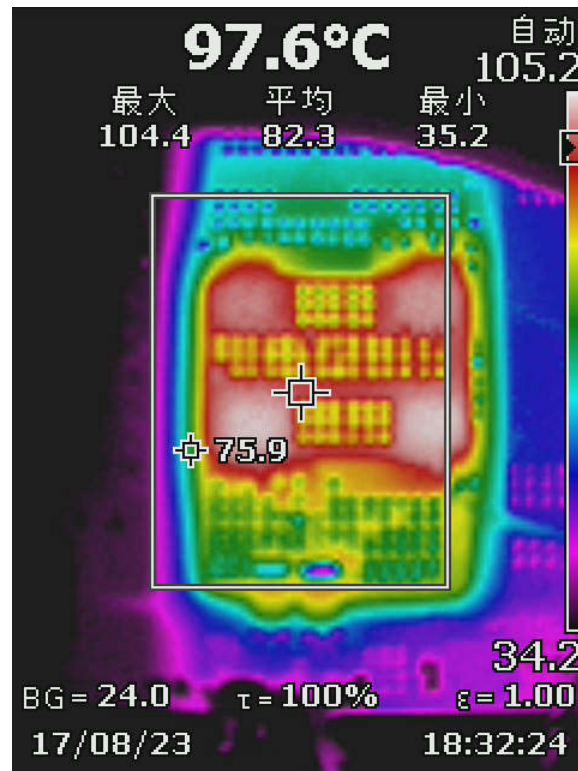


図 4-18. 30 A 放電時の熱画像

## 5 設計とドキュメントのサポート

### 5.1 デザイン ファイル

#### 5.1.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-010268](#) の設計ファイルを参照してください。

#### 5.1.2 BOM

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-010268](#) のデザイン ファイルを参照してください。

### 5.2 ツールとソフトウェア

#### ツール

[バッテリー マネジメント スタジオ \(bqStudio\) ソフトウェア](#)

テキサス・インスツルメンツのバッテリー管理製品を使用した設計、バッテリー管理製品の評価、設計、構成、テスト、その他の利用に関するプロセスを支援するツール。

### 5.3 ドキュメントのサポート

1. テキサス・インスツルメンツ、『[BQ76907](#)、2 から 7 直列のリチウムイオン、リチウムポリマ、LiFePO4 (LFP)、LTO バッテリー パック用高精度バッテリー モニタおよびプロテクタ』データシート
2. テキサス・インスツルメンツ、『[BQ76905](#)、2 から 5 直列のリチウムイオン、リチウムポリマ、LiFePO4 (LFP)、および LTO バッテリー パック用高精度バッテリー モニタおよびプロテクタ』データシート
3. テキサス・インスツルメンツ、『[BQ77207](#)、3 から 7 直列のリチウムイオン バッテリー セル用、内部遅延タイマ付き電圧および温度保護』データシート
4. テキサス・インスツルメンツ、『[MSPM0L110x](#)、ミックスド シグナル マイクロコントローラ』データシート
5. テキサス・インスツルメンツ、『[TCAN1044V](#)、スタンバイ モードおよび 1.8V IO サポート付きフォルト保護 CAN FD トランシーバ』データシート
6. テキサス・インスツルメンツ、『[TCAN1042](#)、CAN FD 付きフォルト保護 CAN トランシーバ』データシート
7. テキサス・インスツルメンツ、『[TPSM365R6](#)、[TPSM365R3](#)、3V ~ 65V 入力、600mA/300mA、無負荷時  $I_Q$  4  $\mu$  A の同期整流降圧コンバータ電源モジュール、HotRod™ QFN パッケージ封止』データシート
8. テキサス・インスツルメンツ、『[TLV704](#)、24V、150mA、静止電流 3.2 $\mu$ A の低ドロップアウトリニア レギュレータ』データシート
9. テキサス・インスツルメンツ、『[TMP61](#)、[0402](#) および [0603](#) パッケージ オプション付き  $\pm$ 1%、10k $\Omega$  リニア サーミスタ』データシート

### 5.4 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支援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。

### 5.5 商標

TI E2E™, MSP430™, LaunchPad™, and E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

Arm® and Cortex® 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。

## 6 著者について

**JENSON FANG** はテキサス・インスツルメンツのシステム エンジニアで、モーター制御や BMS 設計、その他の機器関連システムに関する家電製品のシステム開発責任者です。

**JAYDEN LI** は、中国のフィールド アプリケーション エンジニアで、南京航空航天大学で電気工学の修士号を取得しました。Jayden は BMS アプリケーションを主に担当しており、電動工具、掃除機、電動自転車、住宅用 ESS など、さまざまな最終製品で多様なお客様を支援しています。

**SHUANG FENG** は、中国のフィールド アプリケーション エンジニアで、西安電子科技大学で回路設計およびシステム設計の修士号を取得しました。彼は、このリファレンス デザインの開発に関して Jenson をサポートしました。彼は多様な産業用アプリケーションに注力しています。

## 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、

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