

## Design Guide: TIDA-010240

スケーラブルなマルチパックスマートバッテリーチャージャ  
の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、最大 100 ワット時 (Wh) のデュアルスマートバッテリーパック向けスマート高効率チャージャのデザインであり、並列構成を採用した 1S ~ 5S (1 ~ 5 個の直列) のリチウムイオン (Li-ion) バッテリーという実装を採用しています。これを実現するため、オンボードマイコンは、スマートバッテリーデータ仕様改定 1.1 (SBD 1.1) に合わせて設計されたバッテリーパックと接続する充電システムに必要な、通信機能と安全機能を管理しています。この通信により、マイコンは 2 つの独立したバッテリーチャージャ IC の設定を適切な充電パラメータに初期化し、バッテリーが安全な仕様の範囲外にある場合に充電を防止できます。このデザインでは、2 つのスマートバッテリーの入力アダプタと高効率放電間を同時に選択する、高効率のシステムパワーマルチプレクサも示しています。このリファレンスデザインはこれらの特長を生かして、酸素濃縮器などのポータブル医療機器への高い適応性を実現しています。

## リソース

<a href="#">TIDA-010240</a>	デザイン フォルダ
<a href="#">BQ25731</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">LM7480-Q1、LM74700-Q1</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">MSP430FR2475、PCA9546A</a>	プロダクト フォルダ



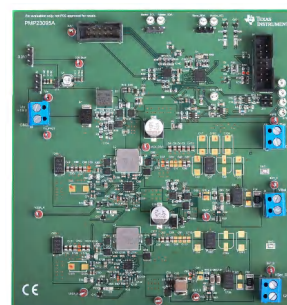
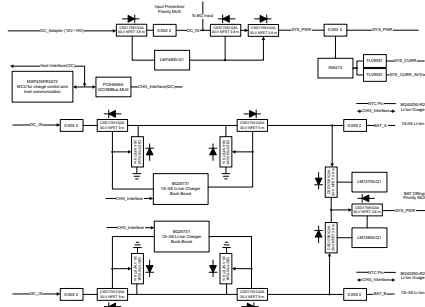
テキサス・インスツルメンツの™ E2E サポート エキスパートにお問い合わせください。

## 特長

- 2 個のスマートリチウムイオンバッテリーの充電と通信に適した、直接の置き換えが可能な完全なバッテリー充電システムを実現
- 1S ~ 5S (1 ~ 5 個の直列) パックをサポートし、バッテリーごとに最大 16A の充電電流を供給
- 充電制御、システムホストとのアップストリーム通信用オンボードマイコン
- オンボード マイコンはスマート バッテリー残量計との通信、充電情報の読み取り、アラートの監視を実行

## アプリケーション

- [酸素濃縮器](#)
- [CPAP 機器](#)
- [マルチパラメータ メディカル モニタ](#)
- [透析装置](#)



## 1 システムの説明

航空機に搭載されるすべてのポータブルテスト装置 (ポータブル人工呼吸器、心電図装置 (ECG)、持続的気道陽圧 (CPAP) 機器など、生命にかかわる医療機器を含む) は、運輸保安局 (TSA) によって実施される安全上の制限の対象となります。一般的に、100Wh 時 (Wh) を上回るリチウム バッテリーを機内持ち込み手荷物として持ち運ぶことは許可されていません。この規則に対する例外扱いには航空会社の裁量であり、事前の承認を必要とします。この混乱は、医療上の必要性からこれらの機器を必要とする乗客にとって理想的ではありません。現在のリチウムイオンバッテリー充電技術の能力により、医療装置メーカーはこうした患者の負担を軽減できます。移動時の制限を満たしながら装置のバックアップ時間を 2 倍にするため、システムデザイン内に 2 つの 100Wh バッテリーを実装できます。この構成では予備バッテリーの数を減らすことが要求されるため、移動中のエンドユーザーの利便性が向上します。このデザインガイドでは、航空機による移動でこれらの要件を達成するための、オンボードマイコンで管理する 2 つの BQ25731 チャージャの実装方法の詳細について説明しています。

## 2 システム概要

### 2.1 ブロック図

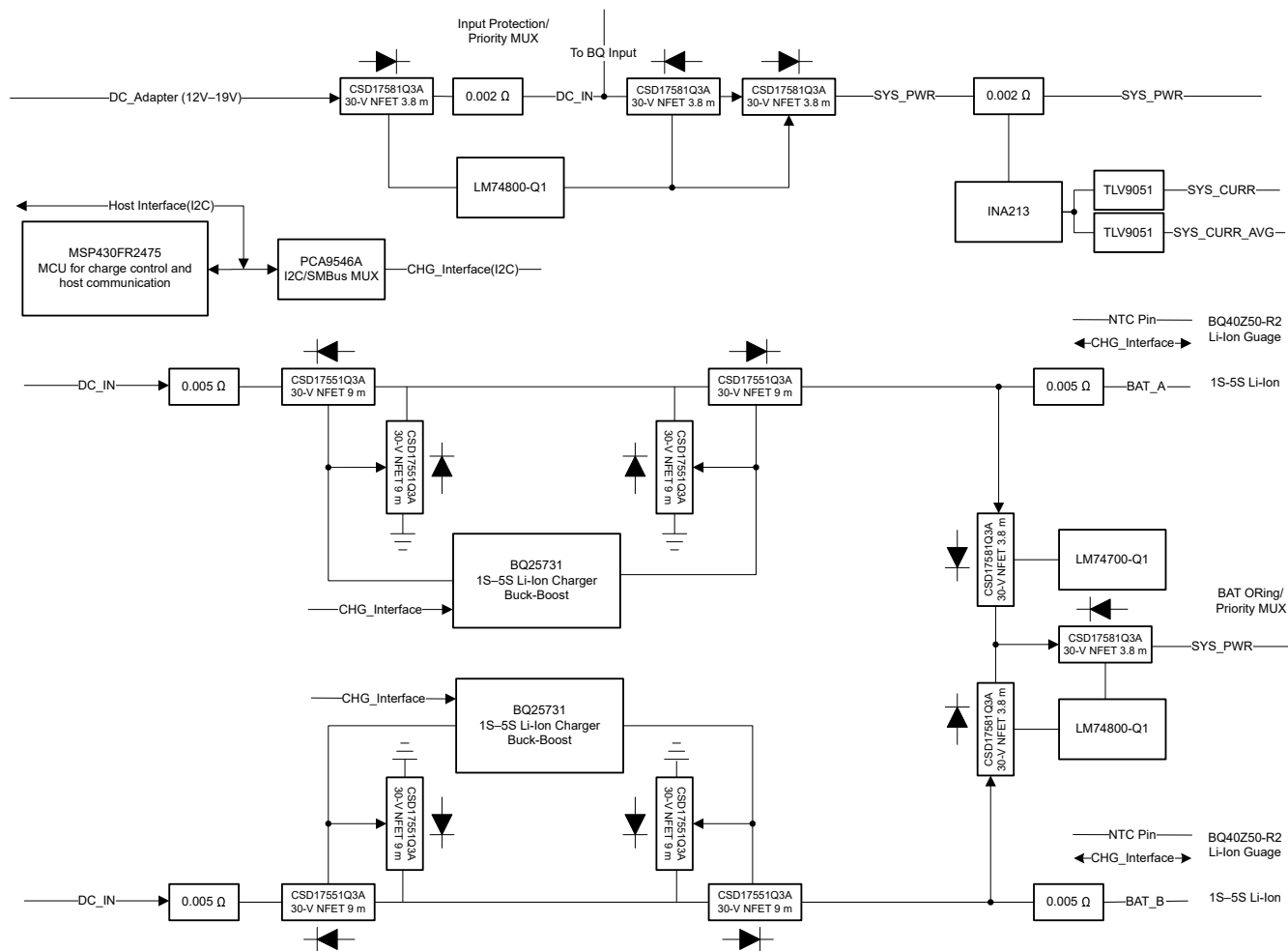


図 2-1. TIDA-010240 のブロック図

### 2.2.1 パワーマルチプレクシング回路の設計パラメータ

[illegible]

図 2-2. 入力とバッテリーのマルチプレクサ回路図

### 2.2.2 入力接続とフィルタ

このリファレンスデザイン基板には、電源に入力を接続するためのネジ端子 (J1) が用意されています。この基板は 12V ~ 19V の範囲の電源でテスト済みですが、11V ~ 22V の入力で機能します。既存のアダプタに簡単に接続できるように、バレルジャックコネクタ (J12) も搭載しています。EMI フィルタリング用に、このボードの入力には共通の PI フィルタもあります。

式 1 を使用して、PI フィルタのコーナー周波数を計算します。

$$F_c = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{LC}} \quad (1)$$

この場合、L1 = 160nH で C10、C11 = 22μF であり、約 85kHz のコーナー周波数となります。

### 2.2.3 逆極性保護

逆極性保護 (RVP) の場合、LM74800 (U1) は Q1 の両端の電圧をモニタします。A ピンと C ピンでモニタしている Q1 の逆電圧が -4.5mV を超えると、デバイスは DGATE ピンを使用して Q1 をオフにします。この回路は、ショットキーダイオードの高効率の代替品として動作します。

### 2.2.4 バッテリチャージャ入力

逆極性保護の後に、2-mΩ のセンス抵抗を追加して、システム全体の入力電流をモニタします。このセンス抵抗の後に、VIN\_PROT レールを定義します。VIN\_PROT レールは、逆極性保護を備えた入力からの常時オン電源として動作します。このレールは、BQ25731 チャージャデバイスに直接電力を供給します。

### 2.2.5 バッテリ理想ダイオード OR

この設計における 2 つの独立したバッテリーを放電するには、理想ダイオード ORing 回路を使用します。この回路では、U5 と U7 によって Q3 と Q4 が駆動され、FET の順方向電圧降下を 20mV にレギュレーションします。これにより、両方のバッテリーを効率的に同時に放電し、一方のバッテリーから他方のバッテリーへの電流の移動を防止できます。この回路では、より高い電圧を使用してバッテリーからより多くの電流を引き出すことにより、システム内でバッテリーパック電圧のパッシブバランスリングを実現することもできます。式 2 は、電圧および等価直列抵抗 (ESR) に基づくバッテリー放電電流の計算例を示しています。この例では、BAT\_A が 16.8V で ESR が 50mΩ、BAT\_B が 16.6V で ESR が 50mΩ であり、システムに 8A 流れると仮定しています。

$$I_{LOAD} = I_{BATA} + I_{BATB}$$

$$V_{Load} = V_{BATA} - V_{Af} - (I_{BATA} \times ESR_{BATA})$$

$$V_{Load} = V_{BATB} - V_{Bf} - (I_{BATB} \times ESR_{BATB})$$

$$V_{BATA} - V_{Af} - (I_{BATA} \times ESR_{BATA}) = V_{BATB} - V_{Bf} - (I_{BATB} \times ESR_{BATB})$$

$$16.8V - 20mV - (I_{BATA} \times 50m\Omega) = 16.7V - 20mV - (I_{BATB} \times 50m\Omega)$$

$$I_{BATA} = I_{BATB} + 2.0, \text{ where } I_{BATB} \geq 0 \quad (2)$$

この例では、大電流が放電されることでバッテリー間の電圧差が減少するまで、BAT\_A は BAT\_B より 2A 多い電流を供給します。

### 2.2.6 入力とバッテリー切り替え構造

このデザインには、アダプタ電圧が U1 の UVLO 設定を超える場合に入力アダプタの優先順位を付ける、入力とバッテリーのマルチプレクサが搭載されています。UVLO スレッシュホールドがトリガされると、入力アダプタはシステムから接続解除され、システム負荷に電源を供給するためにバッテリーが接続されます。これにより、入力アダプタが存在する間のバッテリー放電を防止できます。

このスレッシュホールドは R87 と R88 で構成される抵抗デバイダによって設定されます。U1 (入力アダプタ接続) の場合の UVLO スレッシュホールドは、ターンオフ時に 1.13V、ターンオン時に 1.23V です。U7 (バッテリー接続) の場合、OV ピンは同じデバイダに接続し、スレッシュホールドは逆に動作します。これらのスレッシュホールドは、ターンオン時に 1.13V の立ち下がり、ターンオフ時に 1.23V の立ち上がりです。回路図では、この電圧は UV/OV\_SET というラベルが付いた回路に接続されます。電流回路図で、VIN が 10.56V に達したときに入力アダプタからバッテリーへの切り替えがトリガされ、VIN が 11.5V に達したときにバッテリーから入力アダプタへの切り替えがトリガされます。

式 3 は抵抗デバイダの計算例を示しています。

$$\text{Battery to Input Adapter Transition} = \frac{1.23 \text{ V}}{\frac{R88}{R87 + R88}}$$

$$\text{Input Adapter to Battery Transition} = \frac{1.13 \text{ V}}{\frac{R88}{R87 + R88}}$$

$$R87 = 5.97 \text{ k}\Omega, R88 = 715 \Omega$$

$$\text{Battery to Input Adapter Transition} = \frac{1.23 \text{ V}}{\frac{715 \Omega}{5.97 \text{ k}\Omega + 715 \Omega}} = 11.5 \text{ V}$$

$$\text{Input Adapter to Battery Transition} = \frac{1.13 \text{ V}}{\frac{715 \Omega}{5.97 \text{ k}\Omega + 715 \Omega}} = 10.56 \text{ V} \quad (3)$$

## 2.2.7 LM74800 (U1) HGATE

U1 の HGATE デザインには、2 つの双方向 NFET (Q2 と Q11) が含まれています。バッテリーがシステムに接続されているときに、バッテリーから VIN\_FLT レールに電流が流れるのを防止するため、デザインに Q11 が追加されました。Q2 のみを配置すると (V\_SYS > VIN\_PROT + 0.8V)、電流は Q2 のボディダイオード経由で流れます。これにより、BQ25731 デバイスの出力と BQ25731 デバイスの入力に電流ループを形成できます。

## 2.2.8 バッテリー LM74800 HGATE

Q5 のターンオン時間を短縮するため、U7 の HGATE 設計が調整されました。この短縮は、Q5 に供給されるゲート電流を 55μA から 600μA に増やすことによって実現されます。U7 が供給できる HGATE 電流を増やすため、D10、Q21、R84 を含む回路が追加されました。この回路は、チャージポンプ出力 (CAP、U7 ピン 11) と Q5 のゲートとの間に接続される NPN トランジスタ (Q21) を駆動することにより、HGATE ピンのソース電流を増幅します。電流の注入を制限するため、このパスには直列抵抗 (R84) も追加されています。FET がオフになるときに HGATE ピンが電流を減衰できるようにするため、Q5 のゲートと HGATE (U7 ピン 8) の間にダイオード (D10) を追加しています。式 4 は、HGATE 電流の注入制限の計算例を示しています。LM74800 のチャージポンプは VS + 13.2V の出力を供給します。この場合、VS はバッテリーの出力に接続され、16.8V であると想定されます。チャージポンプは最大 2.4mA の電流を供給できます。現在の設計では注入電流を 600μA に設定していますが、R84 を減らすとこの電流を増やすことができます。

事例 1。

$$R84 = \frac{V_{VS} + V_{CHGPUMP}}{I_{gate}}$$

事例 2。

$$R84 = \frac{16.8 \text{ V} + 13.2 \text{ V}}{600 \mu\text{A}} = 50.0 \text{ k}\Omega$$

$$R84 = \frac{16.8 \text{ V} + 13.2 \text{ V}}{2.0 \text{ mA}} = 15.0 \text{ k}\Omega \quad (4)$$

## 2.2.9 BQ25731 設計上の検討事項

図 2-3 は BQ25731 の部品の選択肢を示しています。

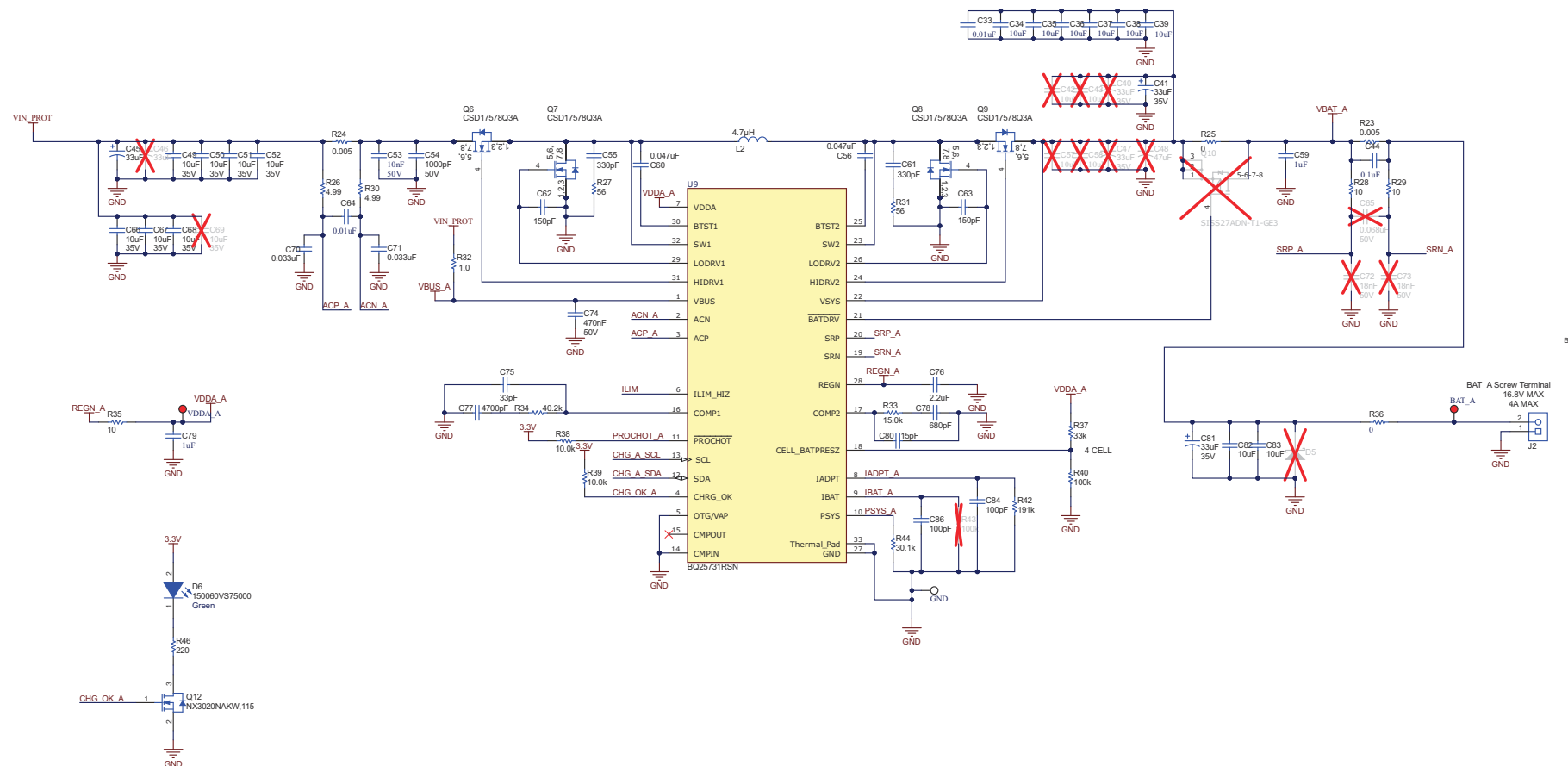


図 2-3. BQ25731 の部品の選択肢

## 2.2.10 BQ25731 の部品の選択肢

このリファレンスデザインでは、BQ25731 チャージコントローラの部品はできるだけ柔軟に選択されました。実際の設計における部品選択の詳細なガイドは、『[BQ25731 I2C 1 ~ 5 セル昇降圧バッテリー充電コントローラ、USB-C PD 3.0 OTG 出力付き](#)』データシートの詳細な設計手順セクションを参照してください。

## 2.2.11 ILIM 回路

このデザインではシステム電流を **8A** に制限する回路を追加しました。これは、デバイスを **12V** の車載アダプタとともに使用する際に最も効果があり、バッテリー電圧をシステムの入力スレッシュホールドよりも低くできます。この回路には **INA213B** が含まれており、**2mΩ** センス抵抗を流れる電流を増幅します。この **INA213B** のゲインは **50V/V** であるため、**8A** の入力が **800mV** の出力になります。

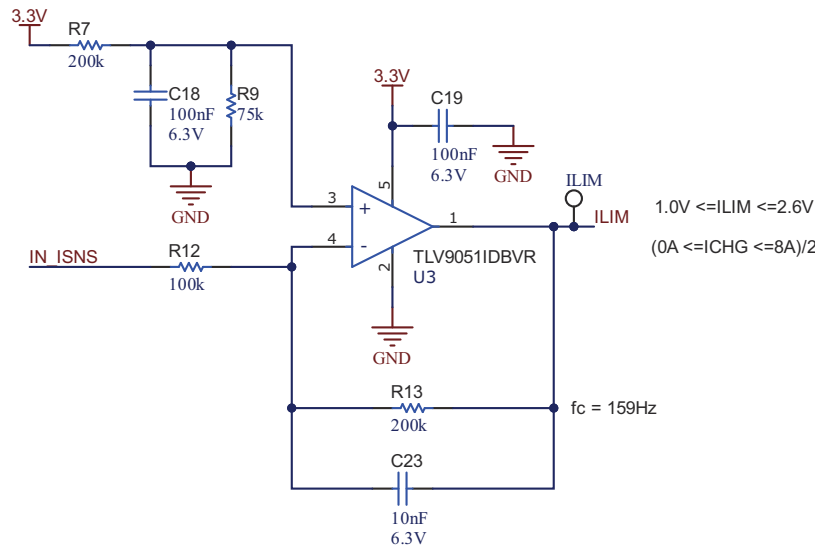


図 2-4. 電流制限回路

この信号を BQ25731 デバイスの ILIM ピンで使用可能な電圧に変換するため、差動アンプとして構成したオペアンプを使用しました。BQ25731 ILIM ピンの電圧は、式 5 に基づいて充電電流に変換されます。

$$V(ILIM\_HIZ) = 1V + 40 \times IDPM \times Rac \quad (5)$$

ここで、

- IDPM はターゲット入力電流制限です
- RAC は BQ25731 に選択した 5 または 10mΩ の抵抗です

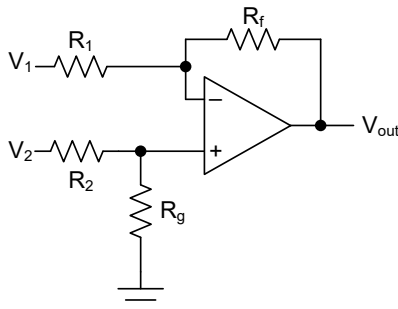


図 2-5. 差動アンプ



差動アンプの場合：

$$V_{out} = V_2 - V_1 \quad (6)$$

ここで、

- $R_1 = R_2 = R_f = R_g, V_{out} = V_2 - V_1$

BQ25731 の充電電流を正しく設定するには、ILIM ピンを 8A のシステム電流で 1.0V、0A のシステム電流で 1.8V に設定します。2 個のチャージャデバイスの各充電電流を 0A ～ 4A の範囲に制限します。

この場合は、V2 を 1.8V に設定します。V2 が 1.8V の場合、アンプの正入力電圧は  $V2/2$  と等しくなり、0.9V です。この電圧は、システムの 3.3V レールと抵抗ダイバダを使用して、計算された設定ポイントに合わせるように生成する必要があります。これは、上の回路図に示すように、R7 と R9 を使用して実装されています。

図 2-6 は、MSP430FR2475、TPS62177、PCA9546A MCU、I<sup>2</sup>C バスの回路図を示しています。



### 2.2.13 MSP430FR2475

このアプリケーションに MSP430FR2475 が選択された理由は、低コスト、2 つの eUSCI\_B チャンネルが I<sup>2</sup>C をサポートし、8 つの 12 ビット ADC チャンネルが搭載され、省スペースであるためです。2 つの eUSCI\_B I<sup>2</sup>C チャンネルにより、2 つの独立したインターフェイスを使用できます。1 つはマイコンとホストコントローラの間、もう 1 つはスマートバッテリーパックに含まれるバッテリーチャージャやゲージなどの下流のデバイスとマイコンの間です。

### 2.2.14 I<sup>2</sup>C バスの概要

このデザインの I<sup>2</sup>C は 2 つの独立した通信チャンネルに分割されています。これらのチャンネルの 1 つは、UCB0 周辺装置を使用してアップストリームホストと通信します。これにより、システムホストが読み書きできるように、データレジスタと制御レジスタを MSP430 に保持できます。この周辺装置を使用すると、ファームウェアにハードウェア I<sup>2</sup>C アドレスを割り当てることもでき、既存のハードウェアとファームウェアを使用しているホストと直接通信するようにシステムを構成できます。

UCB1 を使用するもう 1 つの I<sup>2</sup>C チャンネルは、このデザインの充電システムを制御するための下流側ポートとして機能します。PCA9546A の I<sup>2</sup>C マルチプレクサを使用して、同じアドレスを使用する複数の下流デバイスと直接通信できます。[スマートバッテリーデータ仕様 1.1](#) で概説されているように、PCA9546A の 4 つのチャンネルすべてを使って、アドレス 0x6B にある 2 つの BQ25731 デバイスおよびアドレス 0x16 の 2 つのゲージと通信します。

### 2.2.15 MSP430 コネクタ

このリファレンスデザインには、プログラミングとデバッグのための、TI の MSPFET デバイスと互換性のある MSP プログラミングヘッダが含まれています。このデザインが使用する通信インターフェイスに直接接続するための、UCA1 (J11)、UCB0 (J5)、UCB1 (J7) のヘッダも含まれています。スマートバッテリー通信と安全信号ピンを接続するための、ヘッダ J6 も追加されました。

### 2.2.16 MSP430 電源

オンボード MSP430 は TPS62177 デバイスを搭載した、高効率の同期整流式降圧 DC/DC コンバータです。このコンバータの入力は J8 で選択され、V\_SYS または VIN\_PROT のいずれかから電力を供給できます。これにより、J8 のピン 2 に直接接続して、外部電源からコンバータに容易に電力を供給できます。このコンバータの出力は 3.3V で、デザイン内の MSP430、オペアンプ、コンパレータに電力を供給するために使用します。このデバイスには、現在使用されていないスリープピンもありますが、後のデザインで有効にできます。

### 2.2.17 検出回路

このリファレンスデザインは、マイコンがシステム内の複数の項目をモニタできるようにするための、複数のセンシング回路を搭載しています。この回路には、入力電流と電圧、システム電流と電圧、入力電圧コンパレータ、電源 ID (PS\_ID) コンパレータが含まれています。

## 2.2.18 電流検出

この設計では、電流検出のために 2 つの INA213B デバイスを使用しています。INA213 は、ハイサイドとローサイド両方の電流を測定するための電流シャントモニタ設計です。どちらのデバイスも、グラウンドを基準に 3.3V が供給され、50V/V のゲインが得られます。U2 は 2mΩ のセンス抵抗 R1 を流れる電流を測定します。これはシステムレールとバッテリー充電電流の両方の入力電流です。U4 は 2mΩ のセンス抵抗 R2 を流れる電流を測定します。これはシステム出力レールの電流の測定値です。

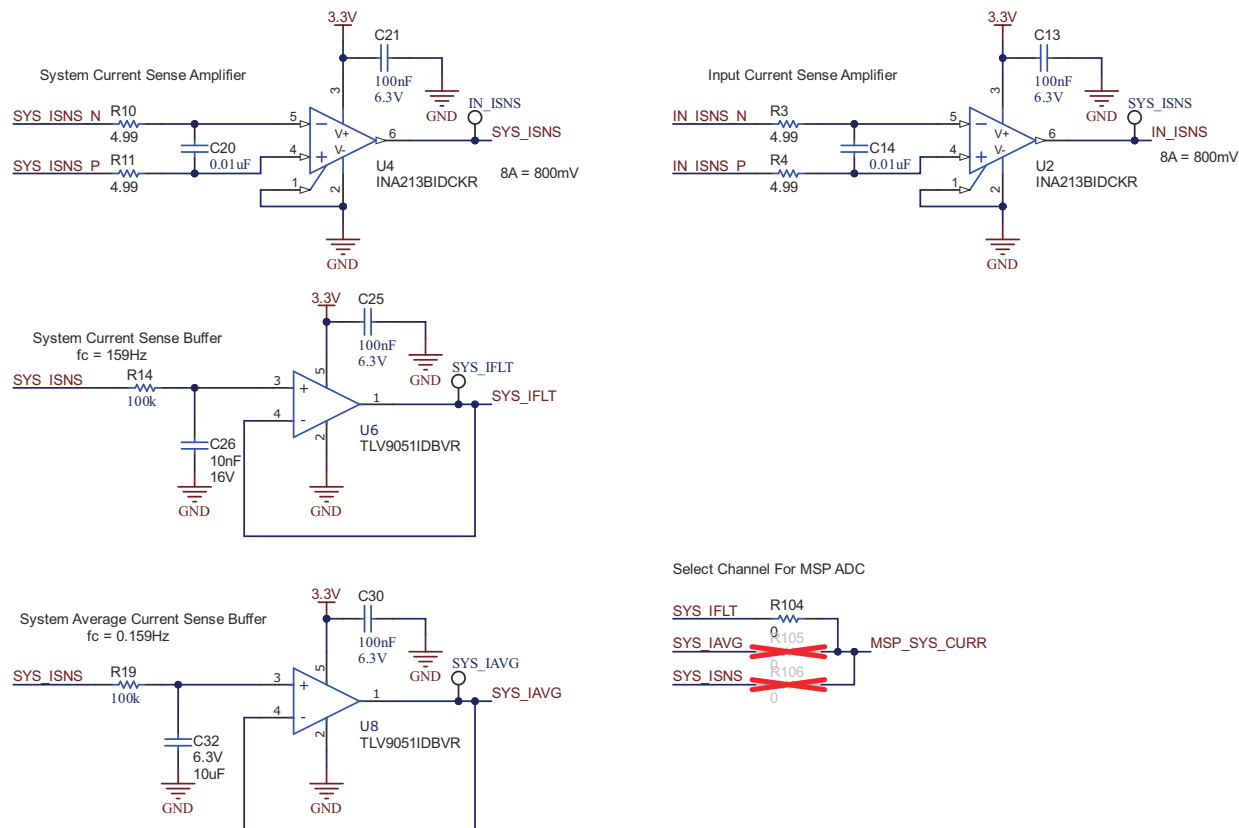


図 2-7. 電流検出回路図

システムの電流レールのフィルタリングに使用する 2 つの電流センスバッファも用意されています。U6 を含むバッファは、コーナー周波数が 159Hz のローパスフィルタを内蔵しています。このため、マイコンはシステム電流を高精度で測定すると同時に、高周波ノイズを低減できます。U8 を含むバッファは、コーナー周波数が 0.159Hz のローパスフィルタを内蔵しています。これにより、マイコンには約 6 秒の平均電流信号が送られます。

マイコンには電流センシングに使用できる ADC ピンが 1 つのみ装備されているため、これらの各出力に直列に 0Ω の抵抗が追加され、どちらの電流センス出力がマイコンに供給されるかを手動で選択できます。

## 2.2.19 電圧検出

システムには、マイコンが V\_SYS、VIN\_FLT、PS\_ID を監視できる 3 つの分圧器があります。V\_SYS および VIN\_FLT 分圧器は、分圧器への入力に基づいてスケーリングされた電圧を出力します。図 2-8 はスケーリングされた電圧を示しています。3 つの分圧器すべてにショットキーバリアダイオードが含まれており、マイコンを過電圧から保護します。

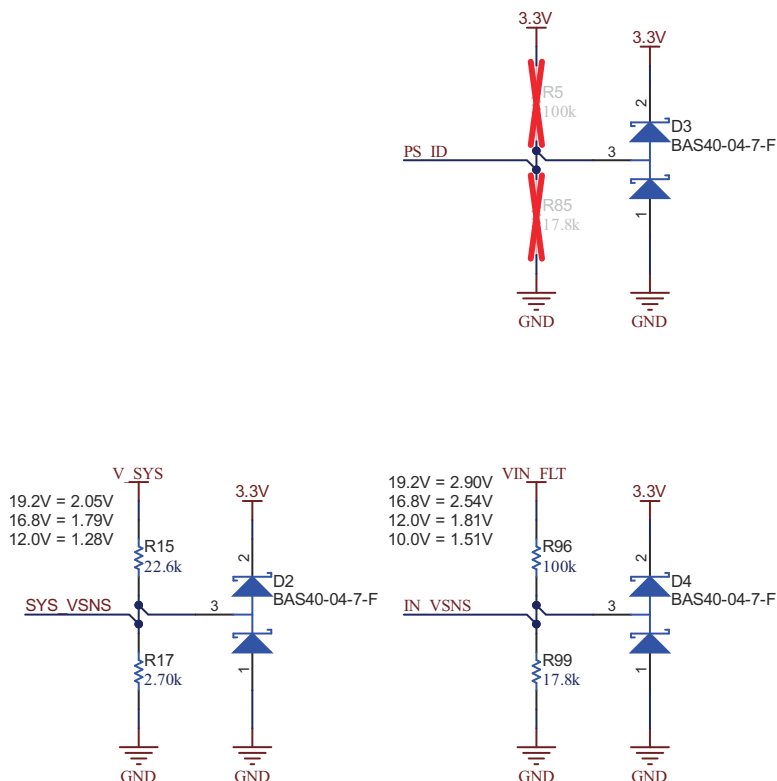


図 2-8. 電圧検出回路図

PS\_ID ピンはここでも使用できます。このタイプのピンは一般的に、バレルジャック入力アダプタに含まれており、アダプタの電圧と電流の能力に基づいて指定の電圧を供給します。

## 2.2.20 入力コンパレータ

VIN\_FLT と PS\_ID をモニタする 2 つのコンパレータが内蔵されています。これらの信号を使用すると、特定のタイプのアダプタが挿入された場合、または入力アダプタの電圧スレッシュホールドが満たされた場合に、マイコンの割り込みを生成できます。TLV7031 ナノパワー低電圧コンパレータを使用すると、省スペースと、入力イベント待機中の低消費電力を実現できます。これらのデバイスは、入力アダプタがないときにバッテリーから電力を供給するため、315nA という超低静止電流になることが設計上の主要な特長です。

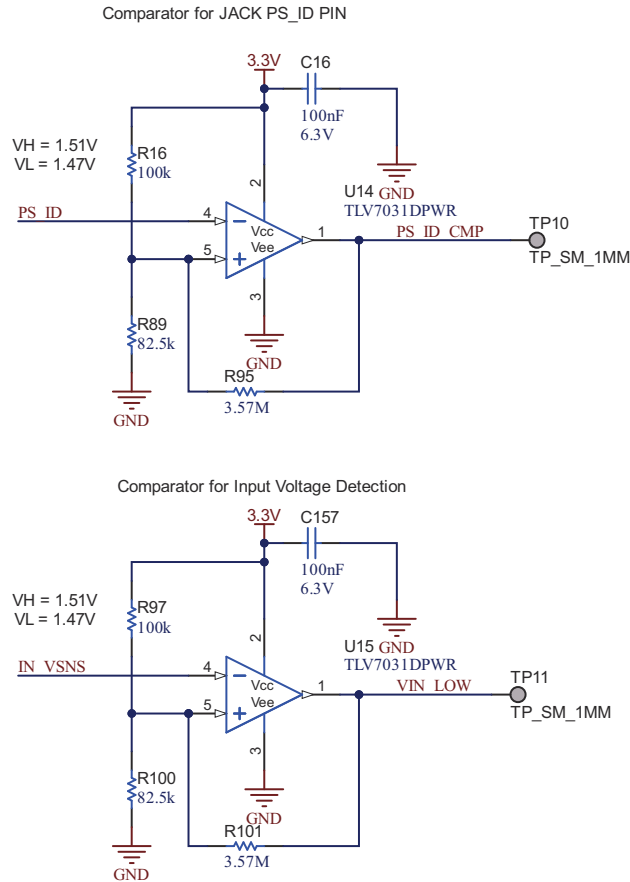


図 2-9. 入力コンデンサの回路図

これらのコンパレータの電圧設定とヒステリシスは、式 7 に従って計算および調整できます。

$$V_{TH} = V_{CC} \times \frac{R_{100}}{R_{97} \parallel R_{101} + R_{100}}$$

$$V_{TL} = V_{CC} \times \frac{R_{100} \parallel R_{101}}{R_{97} + R_{100} \parallel R_{101}}$$

$$V_{TH} = 3.3 \text{ V} \times \frac{82.5 \text{ k}\Omega}{100 \text{ k}\Omega \parallel 3.57 \text{ M}\Omega + 82.5 \text{ k}\Omega} = 1.51 \text{ V}$$

$$V_{TL} = 3.3 \text{ V} \times \frac{82.5 \text{ k}\Omega \parallel 3.57 \text{ M}\Omega}{100 \text{ k}\Omega + 82.5 \text{ k}\Omega \parallel 3.57 \text{ M}\Omega} = 1.47 \text{ V}$$

(7)

## 2.2.21 ソフトウェアのフローチャート

図 2-10 に、ソフトウェアのフローチャートを示します。

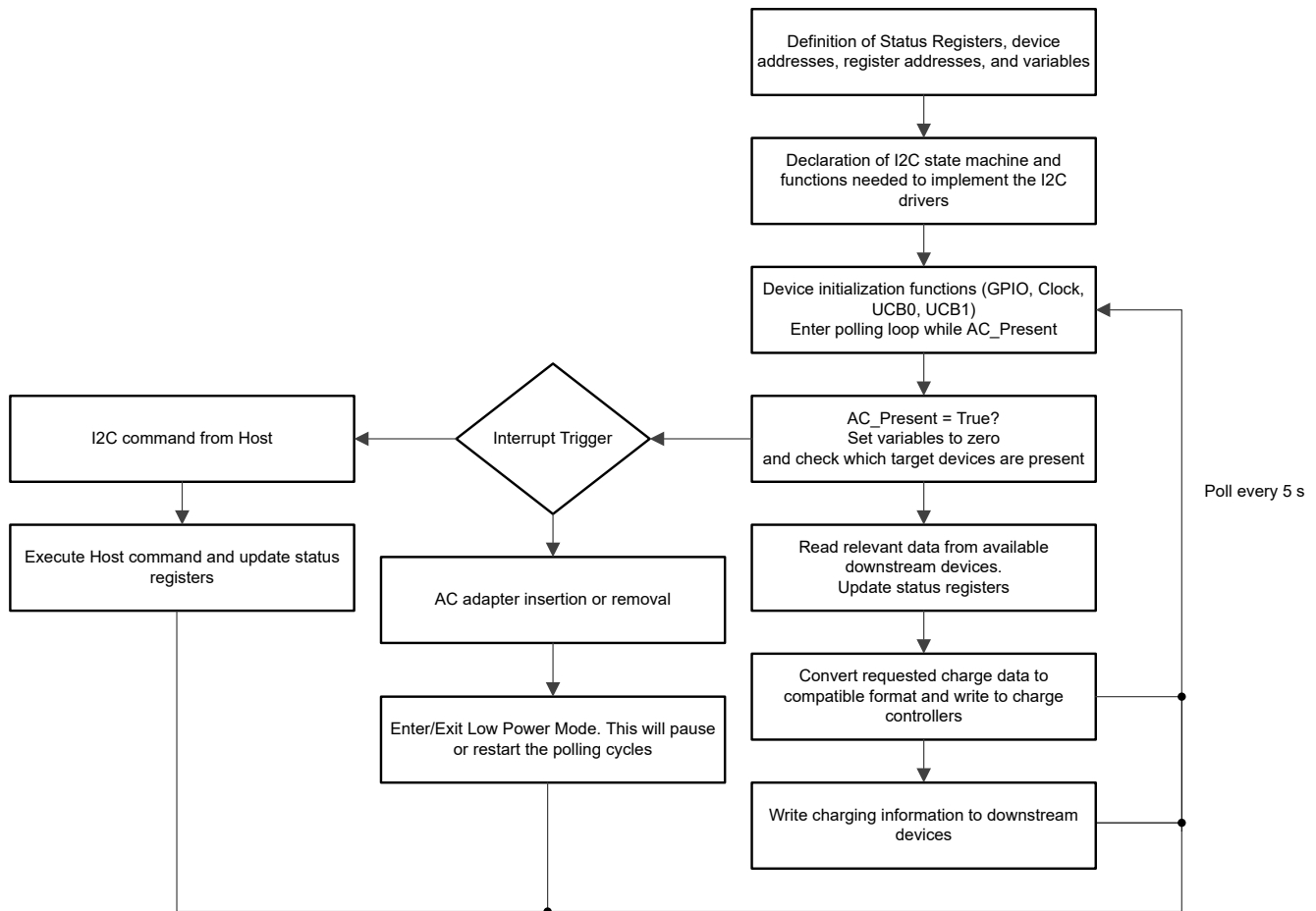


図 2-10. ソフトウェアのフローチャート

## 2.3 主な使用製品

### 2.3.1 BQ25731

BQ25731 は、同期整流昇降圧バッテリー充電コントローラであり、USB アダプタ、高電圧 USB-C パワー デリバリティ (PD) ソース、従来型のアダプタなど、多様な入力ソースから 1 ～ 5 セルバッテリーを充電します。スペースに制約のある 1～5 セルのバッテリー充電アプリケーション向けに、部品点数が少なく高効率のソリューションを実現します。電源投入時に、充電器は入力電源およびバッテリーの状況に基づいてコンバータを降圧、昇圧、昇降圧型のいずれかの構成に設定します。充電器はホストの制御なしに、降圧、昇圧、昇降圧型の動作モードをシームレスに遷移します。

### 2.3.2 LM7480-Q1

LM7480-Q1 理想ダイオードコントローラは外付けのバックツーバック N チャネル MOSFET を駆動および制御して、電力パスの ON / OFF 制御と過電圧保護を備えた理想ダイオード整流器をエミュレートします。入力電源電圧範囲が 3V ～ 65V と広いので、12V と 24V の電源レールを保護および制御できます。内蔵の理想ダイオード コントローラ (DGATE) は第 1 の MOSFET を駆動し、逆電流保護および出力電圧保持用のショットキー ダイオードを置き換えることができます。電力パスの第 2 の MOSFET により、HGATE 制御を使用した負荷の切断 (オンおよびオフ制御) と過電圧保護が可能です。このデバイスには可変過電圧カットオフ保護機能があります。

### 2.3.3 LM74700-Q1

LM74700-Q1 は、外部の N チャネル MOSFET と組み合わせることで理想ダイオード整流器として動作し、20mV の順方向電圧降下で低損失逆極性保護を実現する車載用 AEC Q100 認定済み理想的ダイオードコントローラです。入力電源電圧範囲が 3.2V~65V と広いため、12V と 24V のバッテリーシステムも含め、多くの一般的な DC バス電圧を制御できます。このデバイスは、MOSFET のゲートを制御し、順方向電圧降下を 20mV にレギュレートします。このレギュレーション方式により、逆電流発生時に MOSFET を穏やかにオフにでき、DC 逆電流を確実にゼロにします。このデバイスは、逆電流ブロックへの応答が高速 (0.75μs 未満) なため、ISO7637 のパルステスト時や電源障害および入力マイクロ短絡状況で出力電圧のホールドアップ要件を持つシステムに適しています。

### 2.3.4 MSP430FR2475

MSP430FR247x マイコン (MCU) は、センシングおよび測定アプリケーション向けの超低消費電力、低コストデバイスである MSP430™ マイコンバリューラインポートフォリオの製品です。MSP430FR247x マイコンには、12 ビットの SAR ADC と、1 つのコンパレータが統合されています。MSP430FR247x マイコンは、すべて -40°C ~ 105°C の拡張温度範囲に対応しているため、高温になる産業用アプリケーションでデバイスの FRAM データロギング機能を活用できます。テキサス・インスツルメンツの MSP430 ファミリの低消費電力マイクロコントローラファミリは、各種アプリケーションを対象とするそれぞれ異なるペリフェラルを備えたデバイスで構成されています。アーキテクチャは、多様な低消費電力モードを組み合わせ、携帯型測定機器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。本 MCU には強力な 16 ビット RISC CPU、16 ビットレジスタ、および定数ジェネレータが内蔵されているため、最高のコード効率を実現できます。また、デジタル制御発振器 (DCO) により、低消費電力モードからアクティブ モードへ 10μs (標準値) 未満でウェイクアップできます。

### 2.3.5 PCA9546A

PCA9546A は、I<sup>2</sup>C バスで制御されるクワッド双方向変換スイッチです。SCL/SDA 上流ペアが、4 つの下流ペア (チャネル) に展開されます。プログラム可能な制御レジスタの設定により、どのような個別の SCn/SDn チャネルでも、あるいは、チャネルの組み合わせでも選択できます。アクティブ LOW のリセット入力 (RESET) により、PCA9546A は下流の I<sup>2</sup>C バスの 1 つが LOW 状態に固着した状況から回復できます。RESET を LOW にすると、I<sup>2</sup>C ステートマシンがリセットされ、すべてのチャネルが選択解除されます (内部のパワーオンリセット機能と同様)。スイッチのバスゲートは、PCA9546A により渡される最高電圧を、VCC ピンを使用して制限できるように構成されています。これによって、ペアごとに異なるバス電圧を使用できるため、1.8V、2.5V、3.3V の部品が、追加保護の必要なしに 5V の部品と通信を行えます。外付けのプルアップ抵抗により、各チャネルに求められる電圧レベルにバスをプルアップします。すべての I/O ピンは 5.5V 許容です。



### 3 ハードウェア、テスト要件、およびテスト結果

TIDA-010240 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-010240 の基板接続を一覧します。

**表 3-1. TIDA-010240 の基板接続**

コネクタ	説明
J1	入力電源コネクタ ( $V_{IN}$ )
J2	バッテリー A の電源コネクタ
J3	バッテリー B の電源コネクタ
J4	MSPFET プログラミングヘッダ
J5-1	MSP-MUX SCL
J5-2	MSP-MUX SDA
J5-3	GND 接続
J7-1	ホスト-MSP SDA
J7-2	ホスト-MSP SCL
J7-3	GND 接続
J6-1	BQ25731 デバイス A SCL
J6-2	バッテリーパック A SCL
J6-3	BQ25731 デバイス A SDA
J6-4	バッテリーパック A SDA
J6-5	BQ25731 デバイス B SCL
J6-6	バッテリーパック B SCL
J6-7	BQ25731 デバイス B SDA
J6-8	バッテリーパック B SDA
J6-9	3.3V 接続
J6-10	GND 接続
J8-1	VIN +
J8-2	3.3V 降圧コンバータ電源
J8-3	VSYS +
J9-1	3.3V 降圧コンバータ出力
J9-2	システム 3.3V レール
J9-3	MSPFET 3.3-V ピン
J10	システム出力コネクタ (VSYS)

#### 3.1 ハードウェア要件

表 3-2 に、テストに使用した機器を示します。

**表 3-2. テストに使用した装置**

エネルギー ハーベスト	定格	説明
DC の電源	12V ~ 20V, 8A	19V 電源アダプタ入力を表す電源
電子負荷 (E-Load)	160W	最大 160W のシステム負荷のシミュレーションに使用する電子負荷
スマートバッテリー	最大 4S、2P リチウムイオン	充電、放電、通信テスト向けスマートバッテリーパック
オシロスコープ		Tektronix DPO 2024B
マルチメータ		Agilent 34401A
ロジック アナライザ		通信モニタに使用するロジックアナライザ

**表 3-2. テストに使用した装置 (続き)**

エネルギー ハーベスト	定格	説明
USB2ANY		ホストコマンドの生成に使用する USB2ANY デバイス

## 3.2 テスト設定

表 3-3 はテスト用の TIDA-010240 基板への接続を示しています。

**表 3-3. TIDA-010240 の基板接続 (テスト用)**

コネクタ	説明
J1	DC 電源に接続 (12V ~ 20V)
J2	バッテリー A + および – 接続
J3	バッテリー B + および – 接続
J10	160W 超の E-Load に接続済み
J4	ソフトウェア監視用に MSPFET に接続済み
J5-1	ロジックアナライザの SCL モニタリングダウンストリーム
J5-2	ロジックアナライザの SDA モニタリングダウンストリーム
J5-3	ロジックアナライザの GND 接続
J7-1	USB2ANY 用のホスト MSP SDA 接続
J7-2	USB2ANY 用のホスト MSP SCL 接続
J7-3	USB2ANY 用の GND 接続
J6-1	BQ25731 デバイス A SCL
J6-2	バッテリーパック A SCL
J6-3	BQ25731 デバイス A SDA
J6-4	バッテリーパック A SDA
J6-5	BQ25731 デバイス B SCL
J6-6	バッテリーパック B SCL
J6-7	BQ25731 デバイス B SDA
J6-8	バッテリーパック B SDA
J8	J8-2 ジャンパから J8-3。VSYS を 3.3V 降圧入力に接続
J9	J9-1 ジャンパから J9-2。3.3V 降圧回路を 3.3V システムレールに接続

### 3.3 テスト結果

このセクションでは、この設計の機能を検証するために使用されているテスト手順について説明します。充電電流の制限、バッテリー ORing、アダプタまたはバッテリーの切り替えのテスト結果を示し、そのテストで使用した手順についても説明します。

特に記述のない限り、このセクションで実行されるすべてのテストは [表 3-3](#) の接続に従います。

#### 3.3.1 アダプティブ充電電流制限

このリファレンス デザインには、システム全体の入力電流を 8A に制限するための ILIM 回路が搭載されています ([セクション 2.2.11](#) に記載)。本節で詳細に示すテストにより、この適応型電流制限回路の機能が確認されます。

本テストでは、各バッテリーの正端子にデジタル マルチメータ (DMM) を直列に接続し、それぞれの充電電流を測定します。システムの負荷電流は、CC モードの電子負荷 (E-Load) を使用して設定されます。入力電流は、DC 電源の入力側で監視されます。接続されたバッテリー パックの電圧は約 14.5V であり、セットアップ完了後、ボードは 19V の電源で起動されます。

**表 3-4. アダプティブ充電電流制限データ**

入力電流 (A)	システム電流 (A)	バッテリー A 充電電流 (A)	バッテリー B 充電電流 (A)	ILIM 電圧
5.38	0	3.00	2.99	1.54
5.79	1	2.60	2.78	1.46
6.11	2	2.24	2.40	1.34
6.75	4	1.52	1.63	1.26
7.39	6	0.75	0.80	1.13
8.09	8	0.00	0.00	0.99

#### 3.3.2 バッテリー ORing システム

この設計では理想ダイオードを介してバッテリーを放電します。そのため、バッテリーが放電されて等しい電圧になるまで、バッテリー電圧に比例した放電電流が発生します。テスト開始時に、バッテリー A の測定値は 14.429V、バッテリー B の測定値は 13.858V でした。放電電流を測定するために、マルチメータをバッテリーの正端子に直列に接続しました。E-Load はシステムレールから 5A の一定電流を流すように設定されました (テストに使用した DMM の定格はそれぞれ 3A のみ)。

**表 3-5. バッテリーの ORing データ**

システム電流 (A)	バッテリー A 放電電流 (A)	バッテリー A 電圧 (V)	バッテリー B 放電電流 (A)	バッテリー B 電圧 (V)
5	3.11	12.425	1.91	12.407
2	1.33	13.34	0.68	13.28

### 3.3.3 アダプタからバッテリーへの回路切り替え

このテストは、アダプタからバッテリーへの切り替え機能の設計を実証することを目的としています。19V の入力電源を使用してテストを実行します。E-Load がシステムレールに接続され、8A の一定電流を流します。入力電源を取り除き、VIN、VSYS、VBAT レールの切り替えタイミングを監視します。自動車用充電アダプタを模倣するため、19V 入力電源を 13V 電源に置き換えてテストを繰り返します。

図 3-1 から 図 3-4 まで、VIN は CH1 (青) で測定され、VBAT は CH2 (赤) で測定され、VSYS は CH3 (緑) で測定されます。切り替えメカニズムをより的確に示すため、これらを取得する際のチャンネルはすべて 0V をベースとし、オフセットはありません。

図 3-1 は、200 $\mu$ s の時分割での 19V からバッテリーへの切り替えを示します。VSYS の最小電圧は 9.21V です。おおよその切り替えタイミングは 10 $\mu$ s で、切り替えイベントの 20 $\mu$ s 後に VSYS レールは 12.87V に上昇します。

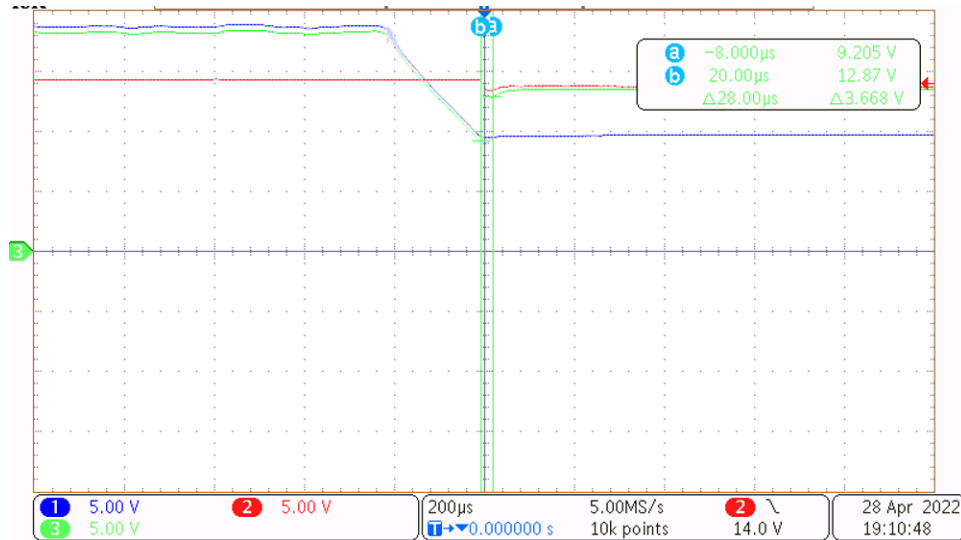


図 3-1. 19V からバッテリーへの切り替え 200 $\mu$ s 時分割

図 3-2 は、20 $\mu$ s の時分割での 19V からバッテリーへの切り替えを示します。VSYS の最小電圧は 9.28V です。おおよその切り替えタイミングは 10 $\mu$ s で、切り替えイベントの 10 $\mu$ s 後に VSYS レールは 11.82V に上昇します。

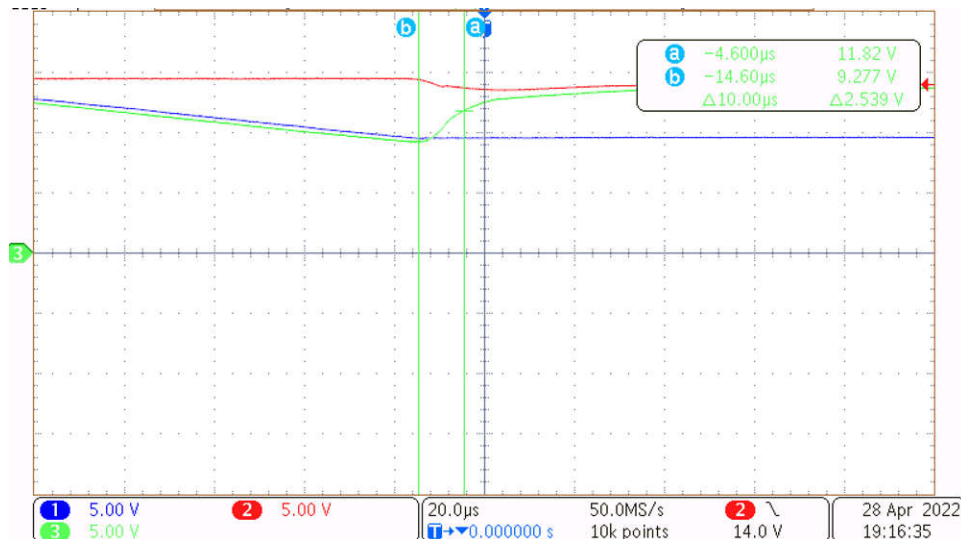


図 3-2. 19V からバッテリーへの切り替え 20 $\mu$ s 時分割

図 3-3 は、100 $\mu$ s の時分割での 12V からバッテリーへの切り替えを示します。VSYS の最小電圧は 9.12V です。おおよその切り替えタイミングは 10 $\mu$ s で、切り替えイベントの 20 $\mu$ s 後に VSYS レールは 12.73V に上昇します。

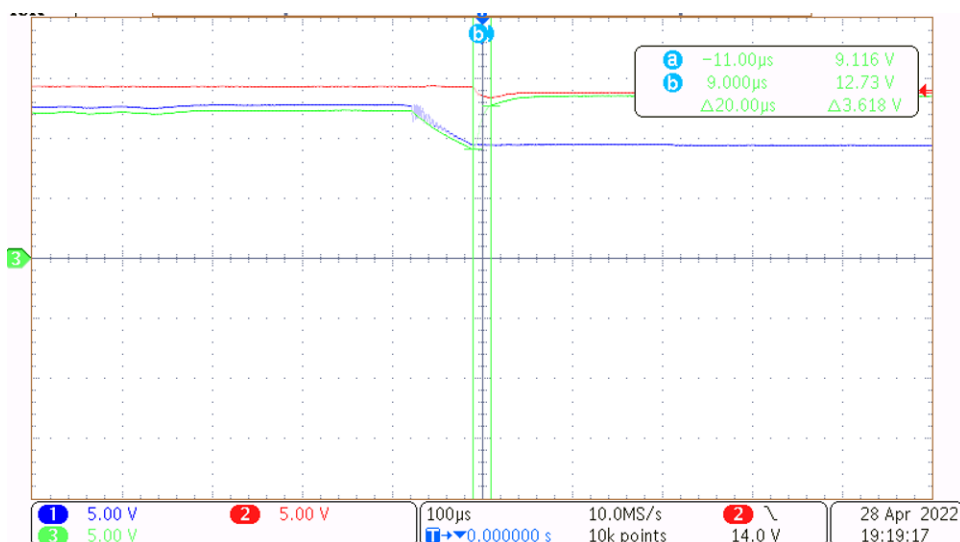


図 3-3. 12V からバッテリーへの切り替え 10 $\mu$ s 時分割

図 3-4 は、20 $\mu$ s の時分割での 12V からバッテリーへの切り替えを示します。VSYS の最小電圧は 9.31V です。おおよその切り替えタイミングは 10 $\mu$ s で、切り替えイベントの 10 $\mu$ s 後に VSYS レールは 10.63V に上昇します。

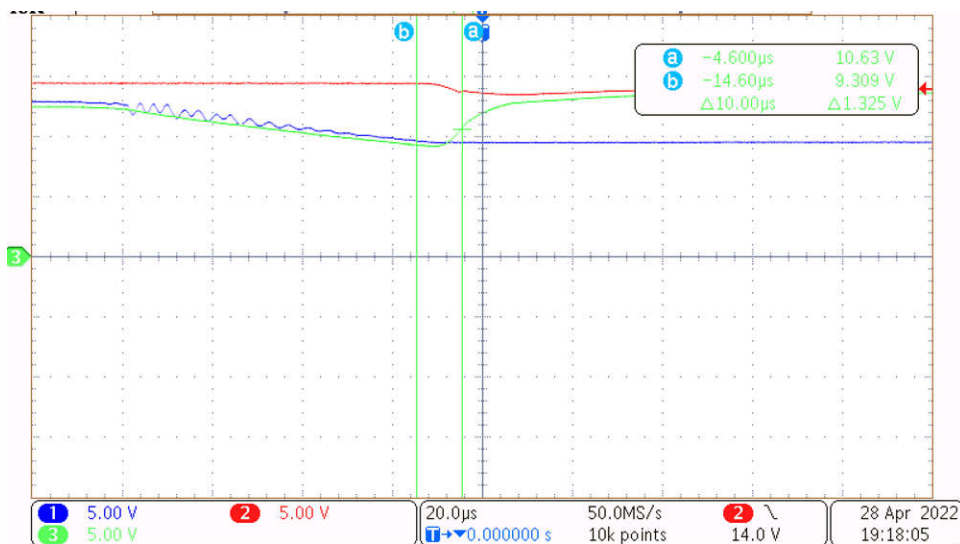


図 3-4. 12V からバッテリーへの切り替え 20 $\mu$ s 時分割

## 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-010240](#) 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-010240](#) のデザイン ファイルを参照してください。

### 4.2 ドキュメントのサポート

1. テキサス インスツルメンツ、『[BQ25731 I2C 1 ～ 5 セル昇降圧バッテリー充電コントローラ、USB-C PD 3.0 OTG 出力付き](#)』データシート
2. テキサス インスツルメンツ、『[LM7480-Q1 負荷ダンプ保護機能を備えた理想ダイオードコントローラ](#)』データシート
3. テキサス・インスツルメンツ、『[LM74700-Q1 低 I<sub>Q</sub> のバッテリー逆接続保護用理想ダイオードコントローラ](#)』データシート
4. テキサス インスツルメンツ、『[MSP430FR247x 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、『[PCA9546A 低電圧 4 チャンネル I<sup>2</sup>C および SMBus スイッチ \(リセット機能付き\)](#)』データシート

### 4.3 サポート・リソース

[TI 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、設計で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、該当する貢献者により、現状のまま提供されるものです。これらは TI の仕様を構成するものではなく、必ずしも TI の見解を反映したものではありません。TI の[使用条件](#)を参照してください。

### 4.4 商標

テキサス・インスツルメンツの™, MSP430™, and TI E2E™ are trademarks of Texas Instruments.  
 すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 5 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 * (June 2022) to Revision A (June 2022)	Page
• 「システム概要」セクションのテキストを削除。.....	3

## 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