

Design Guide: TIDA-050042

スイッチング定電流ソース、1-6s、最大 1.5A リチウムイオンバッテリチャージャリファレンス デザイン



説明

このリファレンス デザインは、ミッドエンドからローエンドのロボット型掃除機向けのコスト最適化オンボード バッテリチャージャソリューションを紹介します。このソリューションは、1.5A の充電電流能力を小規模なレイアウト面積で実現し、 $\pm 3\%$ の充電電圧精度と $\pm 3\%$ の充電電流精度を実現しています。このデザインは、安定して滑らかな、プリチャージから CC (定電流)、および CC から CV (定電圧) への充電プロファイルを実現し、4S2P のリチウムイオンバッテリパックで評価されています。

リソース

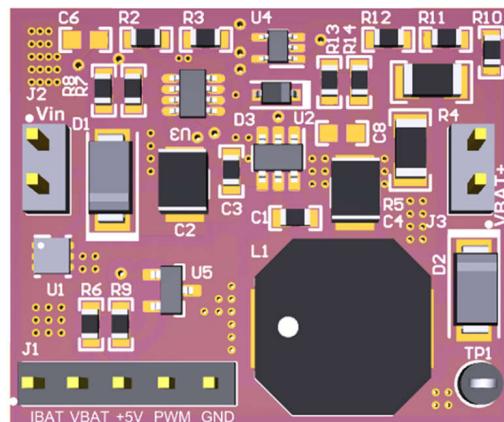
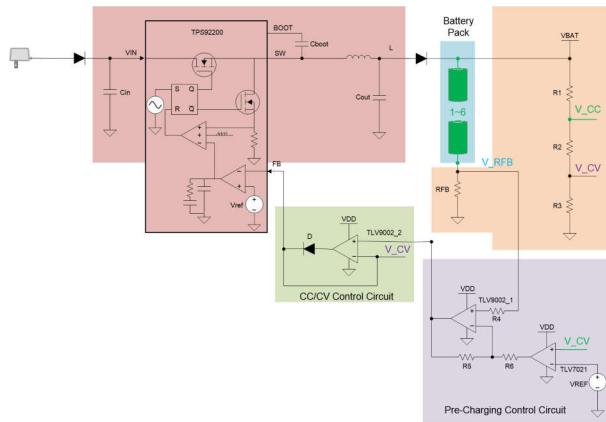
TIDA-050042	デザイン フォルダ
TPS92200	プロダクト フォルダ
TLV9002	プロダクト フォルダ
TLV7021	プロダクト フォルダ
TVS3300	プロダクト フォルダ

特長

- 4V ~ 30V の入力電圧範囲に広く対応 (1-6s のリチウムイオンバッテリチャージャソリューション)
- 1.5A の最大充電電流
- 外部回路の使用による純粋なハードウェア構成が可能な 3段充電
 - プリチャージ、CC、CV
 - CC および CV
- ピュア アナログ制御トポロジ
 - シンプルなアナログ回路を使用したプリチャージ段を実装
 - 内部補償機能とシンプルな制御ロジックを通じて、CC から CV への滑らかで安定した遷移を実現

アプリケーション

- ロボット掃除機
- コードレス掃除機
- ヒューマノイド (ヒト型ロボット)



1 システムの説明

ロボット型掃除機とも呼ばれる掃除ロボットは、約 23 年前から存在し、最近ではインテリジェント化と自動化が進んでいます。ロボットは、再充電が必要になる前に、クリーニング サイクル全体を終えることが期待されています。掃除ロボットには、モップ操作、オーディオ操作、厚いカーペットや高い段差を乗り越えるなど、より多くの機能が追加されたことで、クリーニング サイクル全体を終えるまでの電力要件が増大しており、その結果、バッテリ容量が通常 2,600mAh ~ 5,200mAh と大型化しています。

これにより、バッテリ チャージャの要件も増大しています。次の項目はオンボード チャージャの一般的な要件です。つまり、充電器回路がロボットのメイン基板に実装されていることを意味していて、これは世界中のほとんどすべてのブランドの掃除ロボットで広く採用されています。

- 大きい充電電流
- 優れたコスト効率
- 小型サイズ
- 高い充電電圧精度
- 高い充電電流精度
- 簡単な設計

大半のオンボード充電は、ディスクリート ソリューションで実現します。最も代表的な例は、システム マイクロ コントローラ (MCU) をデジタル コントローラとして使用する非同期整流降圧トポジ チャージャです。図 1-1 に、このソリューションのブロック図を示します。

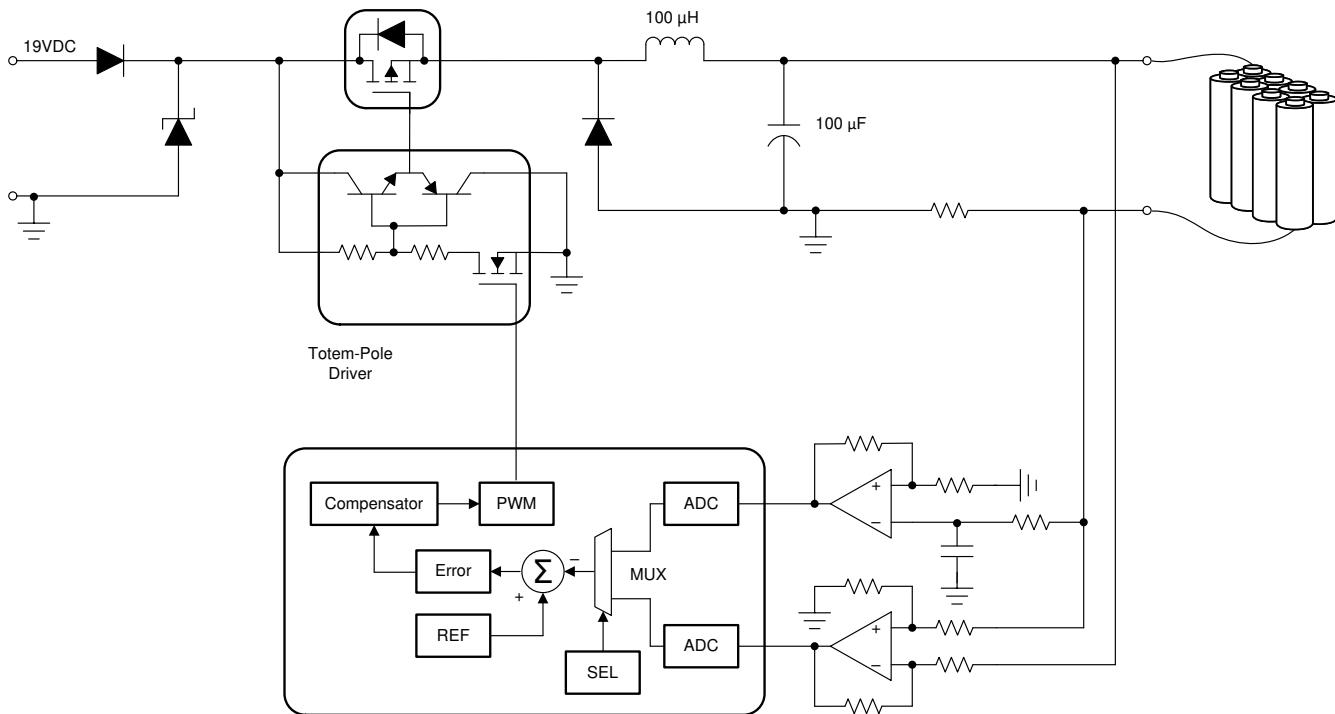


図 1-1. システム MCU によって制御される非同期整流降圧トポジ チャージャ

このソリューションは、デジタル制御のスイッチモード電源 (SMPS) です。デジタル制御とは、フィードバック情報をサンプリングし、ループを数値制御で閉じることを意味し、エラー アンプをアナログ / デジタルコンバータ (ADC) およびデジタル フィルタに置き換えます。補償器は、デジタル信号処理手法を使用して PWM の制御動作を構築します。

次の項目に、このソリューションの長所と短所をいくつか示します。

- ADC サンプリング レートの制限とナイキストシャノン サンプリング定理により、スイッチング周波数が制限されます (通常 50kHz ~ 100kHz)。
- 厳格な出力電圧レギュレーション要件を満たすために必要なインダクタと出力コンデンサの値が大きく、基板の占有面積が大きくなります。

- 非同期整流降圧トポロジにより効率性が低く、低放熱性能が特にフリーホイール ダイオードの消費電力の影響を受けています。
- 複雑なデジタル信号処理技術により安定した閉ループを実現し、メモリ、PWM、ALU、ADCなどの複数の MCU リソースを占有し続けるために、充電電圧の精度は ADC の基準電圧の精度に依存し、充電電圧の精度は約 $\pm 3\%$ です。

このリファレンス デザインは、上記のディスクリート ソリューションと完全統合型ソリューションの間で競争力のあるソリューションを開発しました。

1.1 主なシステム仕様

表 1-1 に、オン ボード チャージャの代表的な要件とシステム仕様を示します。

表 1-1. 主なシステム仕様

パラメータ	仕様
入力電圧範囲	17V ~ 30V
直列セル数	4S
充電電流	最大 1.5A
充電電圧精度	$<=\pm 3\%$
充電電流精度	$<=\pm 3\%$
充電電圧リップル	$\pm 0.023\%$
効率	90% 超、最大 95%
PCB サイズ	3.0cm × 2.5cm

2 システム概要

2.1 ブロック図

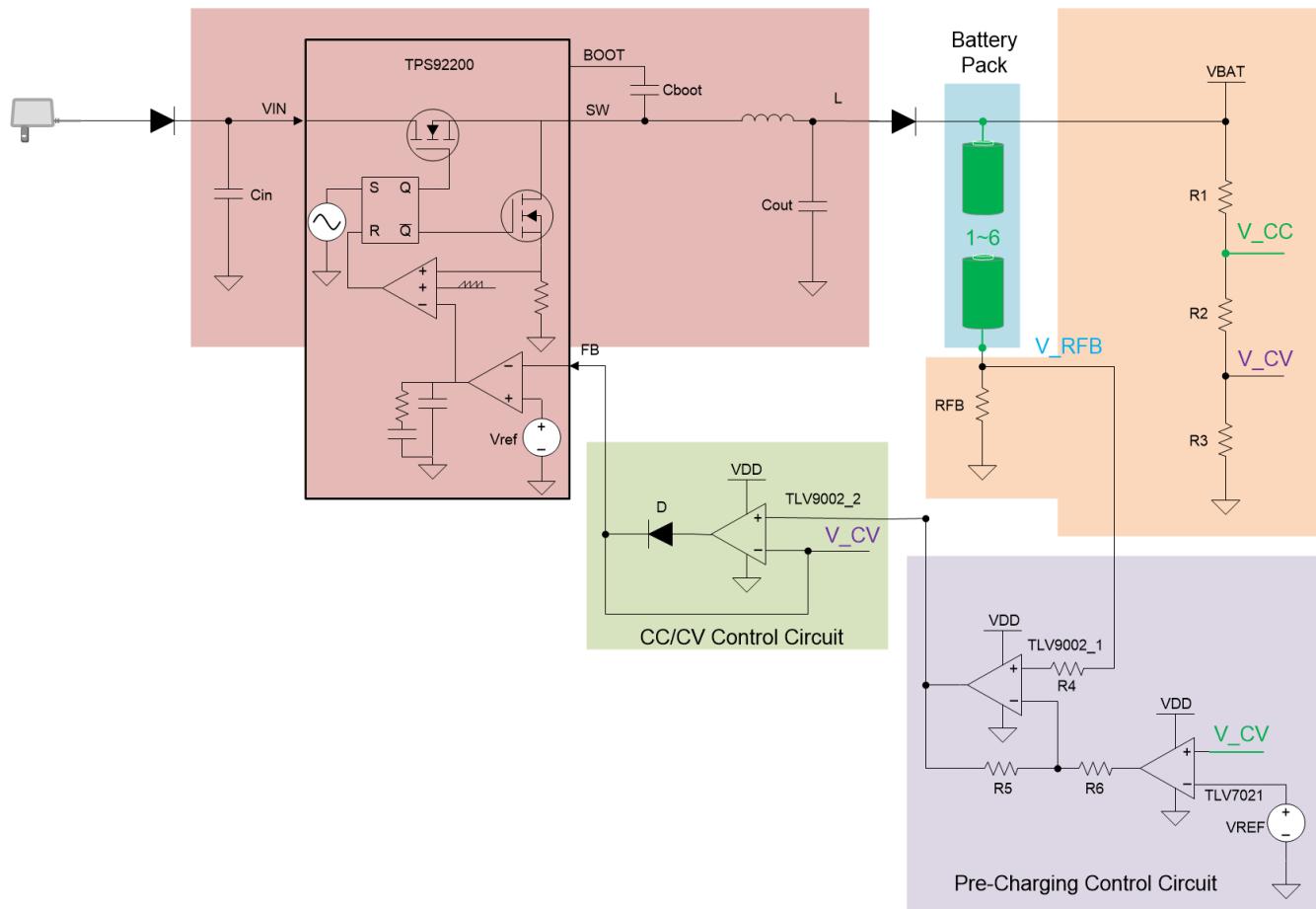


図 2-1. TIDA-050042 のブロック図

2.2 設計上の考慮事項

このリファレンス デザインは、充電電圧精度のトレードオフにより、システムの BOM (部品表) コストと充電電流容量の最適化を試みます。このソリューションは、同期整流降圧コンバータに基づくバッテリ チャージャを実現します。TPS92200 デバイスは、2 つのスイッチング FET と内部ループ補償を統合し、SOT-23 パッケージを採用して高い電力密度を実現し、PCB 上の占有面積を小さくします。アナログ制御を使用することで、MCU リソースとソフトウェア ワークロードが不要になります。これにより、実装が簡単になり、設計サイクルを短縮できます。このソリューションは、高い電流検出精度を実現する TLV9002 デバイスと、プリチャージと定電流充電プロセスの切り替えに使用される TLV7021 デバイスを使用することで、定電圧段階と定電流段階のシンプルな充電プロファイルを実現しています。

2.3 主な使用製品

このリファレンス デザインに使用した製品について、選定理由となった特長も含めて、以下に詳述します。使用製品の詳細については、各製品のデータシートを参照してください。

2.3.1 TPS92200

TPS92200 は 1.5A の同期整流降圧 LED ドライバで、最大入力電圧は 30V です。TPS92200 は、ハイサイドとローサイドの NMOS スイッチを統合することで、超小型ソリューション サイズで高電力密度と高効率を実現します。TPS92200 デバイスは、ピーク電流モード制御と完全な内部補償を採用しており、広範な動作条件にわたって高い過渡応答性能を実現します。

LED ドライバの定電流特性により、競争力のある充電器ソリューションの実装にも使用できます。4V ~ 30V の電源電圧範囲は、一般的な AC-DC アダプタまたは USB 電源を使用する 1s ~ 6s リチウムイオン バッテリ アプリケーションで非常に一般的です。

フレキシブルな調光方式は、外付け部品が少ないデジタル チャージャソリューションや、外付け部品が少ない純粋なハードウェアソリューションなど、さまざまなバッテリチャージャソリューションが実現しやすくなります。

安全と保護のために、TPS92200 デバイスには、LED 開放、LED+ と GND の短絡、LED 短絡、センス抵抗開放と短絡、デバイス過熱保護など、完全な保護機能が実装されています。これらの保護機能により、バッテリパックの安全性も向上します。

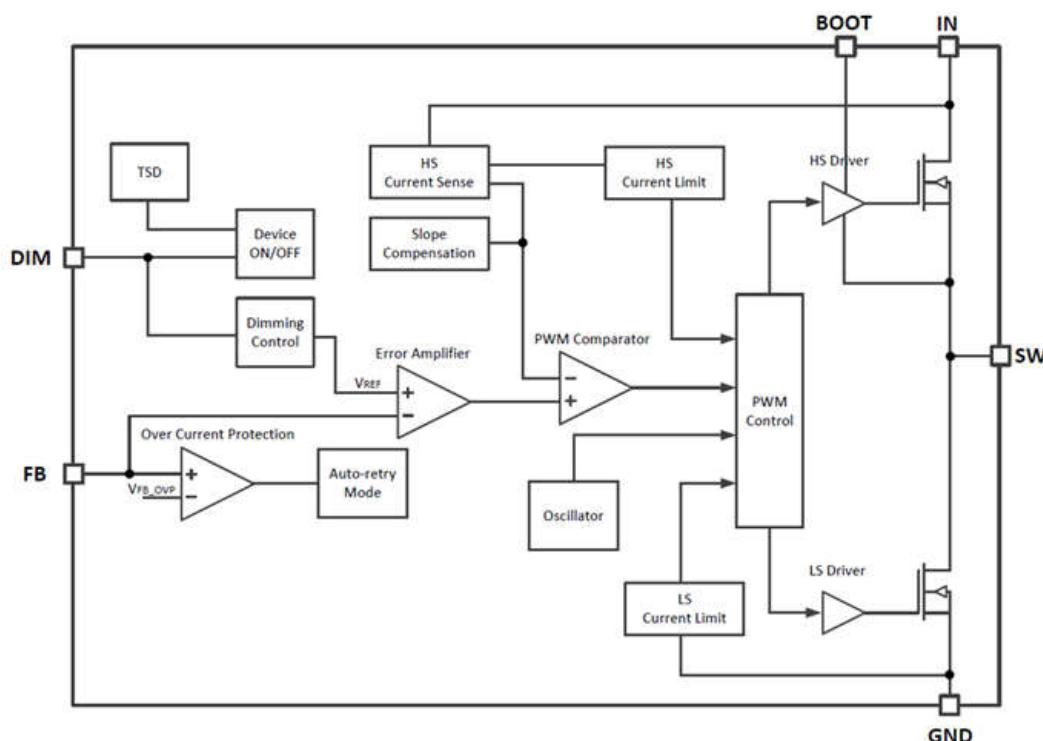


図 2-2. TPS92200 の機能ブロック図

2.4 システム設計理論

簡素化した充電プロファイルを実現するには、バッテリ チャージャに事前定充電制御 (Pre-CC)、定電流 (CC) 制御、定電圧 (CV) 制御を搭載する必要があります。TPS92200 デバイスには、定周波数のピーク電流モード制御が実装されており、ラインおよび負荷過渡応答を改善できます。最適化された内部補償回路により外付け部品数を最小限に抑え、定電圧ループ設計の簡素化を実現します。

2.4.1 事前充電(プリチャージ) 制御

事前定電流制御を行うには、この設計でプリチャージ電圧スレッショルドを設定する必要があります。

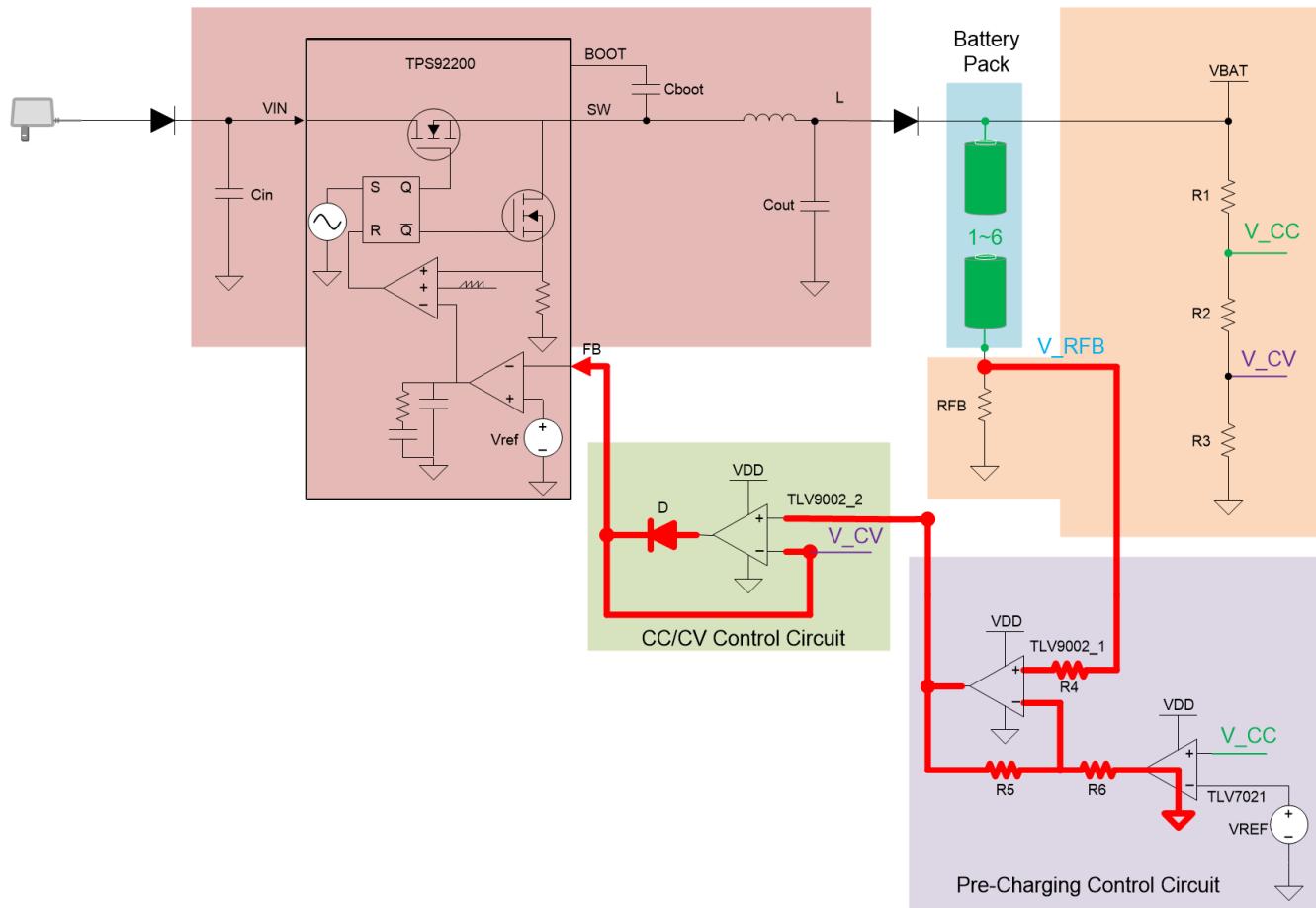


図 2-3. 事前充電(プリチャージ) 制御

VREF は、分圧器、または TL431 などの定電圧源から供給できます。R1、R2、R3 を使用してバッテリ電圧を検出します。バッテリ電圧が式 1 を満たすと、図 2-3 に示すプリチャージ モードに移行します。

$$V_{CC} = V_{BAT} * \frac{R1}{R1 + R2 + R3} \leq V_{REF} \quad (1)$$

プリチャージ モードでは、TLV7021 は Low を出力し、TLV9002_1 は検出された電圧を増幅して、式 2 に示すゲインで RFB を形成します。

$$\text{Gain} = 1 + \frac{R5}{R6} \quad (2)$$

バッテリが完全に充電されないため、バッテリで検出された電圧 V_{CV} は式 3 を満たします。そのため、TLV9002_2 出力が High になり、ショットキー ダイオードが閉ループ パスに導通します。

$$V_{CV} = V_{BAT} * \frac{R1 + R2}{R1 + R2 + R3} < V_{ref} \quad (3)$$

- これは、TPS92200 の内部リファレンス、99mV (標準値) です。

プリチャージ モードでの充電電流は、式 4 で計算できます。

$$I_{out} = \frac{V_{ref}}{Gain * RFB} \quad (4)$$

プリチャージ モードは、 V_{CC} が V_{REF} に近づくと終了します。

2.4.2 定電流制御

V_{CC} が V_{REF} より高い場合、コンパレータ TLV7021 出力はオープンになります。TLV9002_1 は V_{RFB} を増幅しないバッファのように動作します。TLV9002_2 は、図 2-4 に示すように閉ループでも動作します。

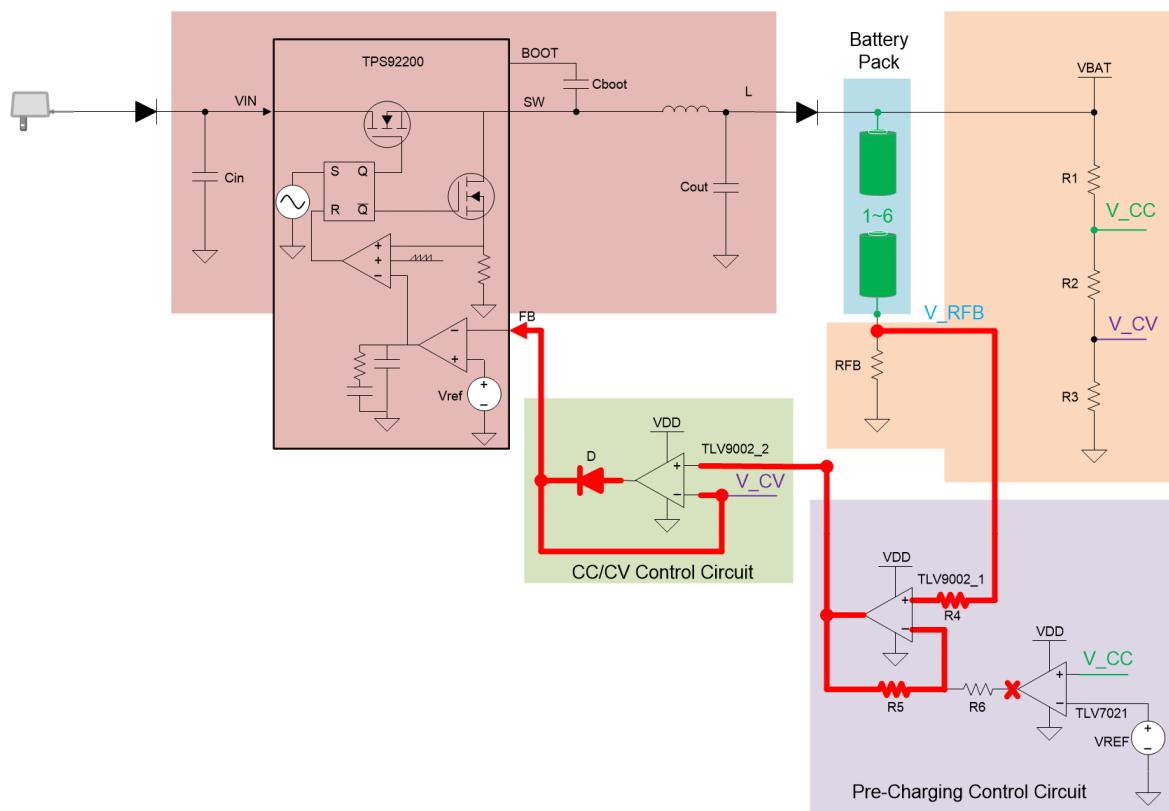


図 2-4. 定電流制御設計

定電流モードでの充電電流は、式 5 で計算できます。

$$I_{out} = \frac{V_{ref}}{RFB} \quad (5)$$

定電流モードは、 V_{CV} が V_{ref} に近づくと終了します。

2.4.3 定電圧制御

CC 制御と CV 制御を切り替えるためのコスト効率に優れた、簡素化された方法とは、1 つのダイオードを使用して OR ロジック機能を実装することです。図 2-5 に、この実装のブロック図を示します。

充電プロセスによって VBAT は増加し、V_{CV} が Vref と等しくなると、TPS92200 はステータス状態に移行します。これにより、出力電流が低下し、TLV9002_2 出力が Low になり、ショットキー ダイオードがブロックされて、V_{CV} が直接レギュレートされ、従来の DC/DC コンバータのような定電圧制御が行われます。

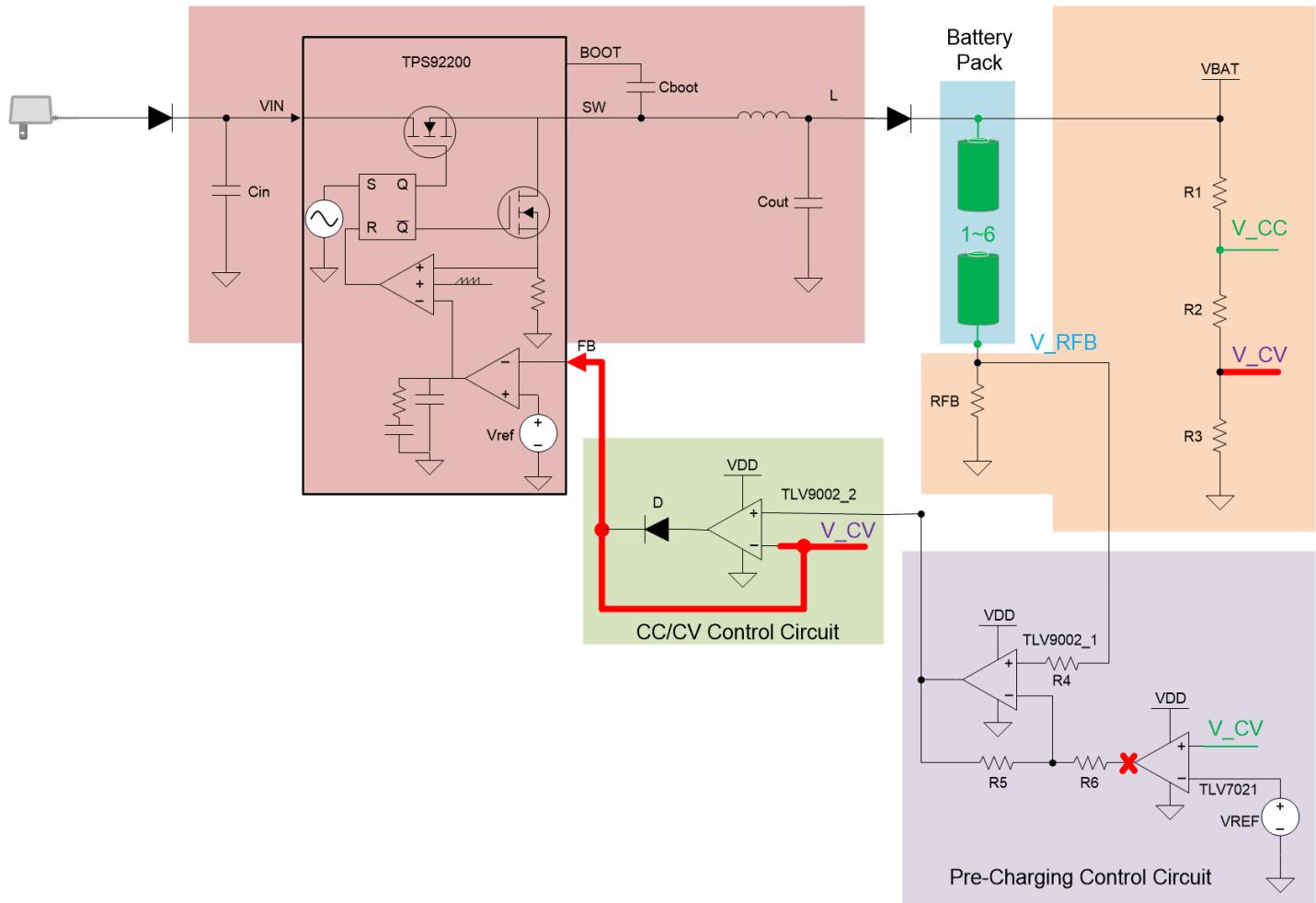


図 2-5. 定電圧制御

3 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

3.1 必要なハードウェア

図 3-1 に、TIDA-050042 デザインの PCB の概要と、その特長を示します。

- 電源用 2 端子入力 (J2):このピンを使って、前段の AC/DC 出力電圧から DC 電源を接続します。
- 出力電圧の 2 端子出力 (J3):このピンは、この充電器の出力として使用され、バッテリに接続します。
- 6 端子コネクタ (J1):このコネクタは、外部通信インターフェイスに使用されます。ピン定義は左から右の順に次のとおりです。IBAT、VBAT、+5V、PWM、GND。IBAT ピンは電流検出回路の出力、VBAT は電圧検出回路の出力、+5V はオペアンプ / コンパレータの電源です。PWM ピンはオプションであり、出力電流の調整に使用されます。

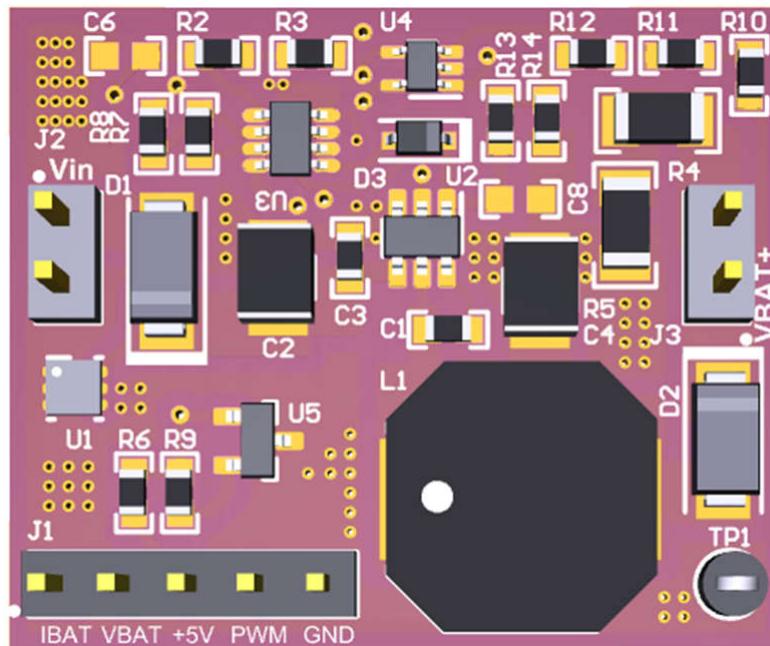


図 3-1. TIDA-050042 プリント基板

3.2 テストと結果

3.2.1 テスト設定

表 3-1. テスト環境リスト

材料	使用法	備考
DC 電源	電源	30V、2A 電源
DC 電源	電源	6V、1A 電源
TIDA-050042 ボード	バッテリ チャージャ基板	----
電子負荷	バッテリ パック シミュレーション	CC、CV、CR モード
4S2P リチウムイオン バッテリ パック	負荷	保護回路搭載

以下の手順は、テスト中にラボでテスト プラットフォームを設定する方法を示しています。

1. TIDA-050042 ボードの無負荷時の出力電圧が適切であることを確認します
2. 電子負荷を接続し、CV モードを選択して定出力電流をテストします
3. 電子負荷を接続し、CC モードを選択して定出力電圧をテストします

3.2.2 テスト結果

3.2.2.1 プリチャージ、CV、CC モードの定常状態

図 3-2 に、事前定電流 (Pre-CC) モードの定常状態を示します。図 3-3 に、定電流 (CC) モードの定常状態を示し、図 3-4 に定電圧 (CV) モードの定常状態を示します。青の曲線 (CH4) は出力電圧、紫の曲線 (CH1) はスイッチング周波数です。CV モードは、16.5V の出力電圧、0.5A の出力電流の条件でテストされています。CC モードは、出力電圧 15V、出力電流 1.0A の条件でテストされています。

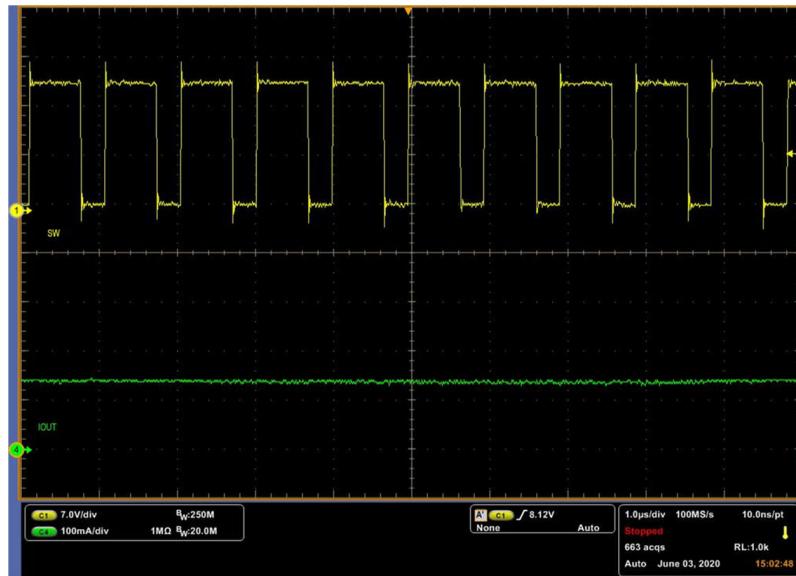


図 3-2. プリチャージ モードの定常状態

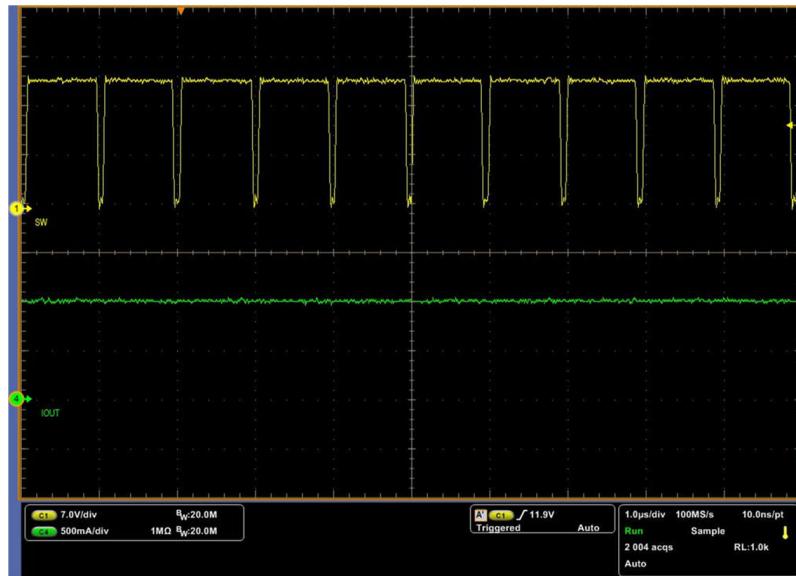


図 3-3. CC モードの定常状態

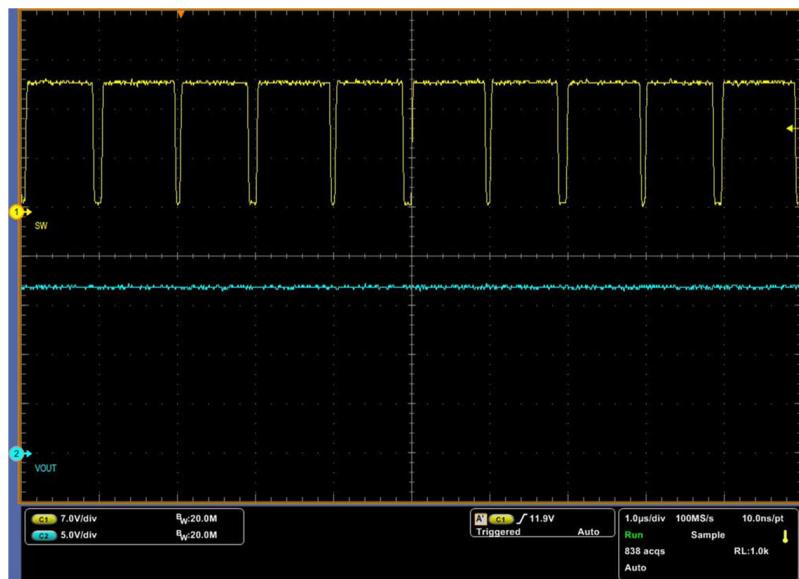


図 3-4. CV モードの定常状態

3.2.2.2 CV 電圧リップルと CC 電流リップル

図 3-5 に CC モードの電流リップルを示し、図 3-6 に CV モードの電圧リップルを示します。出力電圧リップルは $\pm 20\text{mV}$ 未満です。出力電流リップルは、電流検出回路の出力電圧を測定することによってテストされており、電流リップルは $\pm 5\text{mA}$ 未満です。

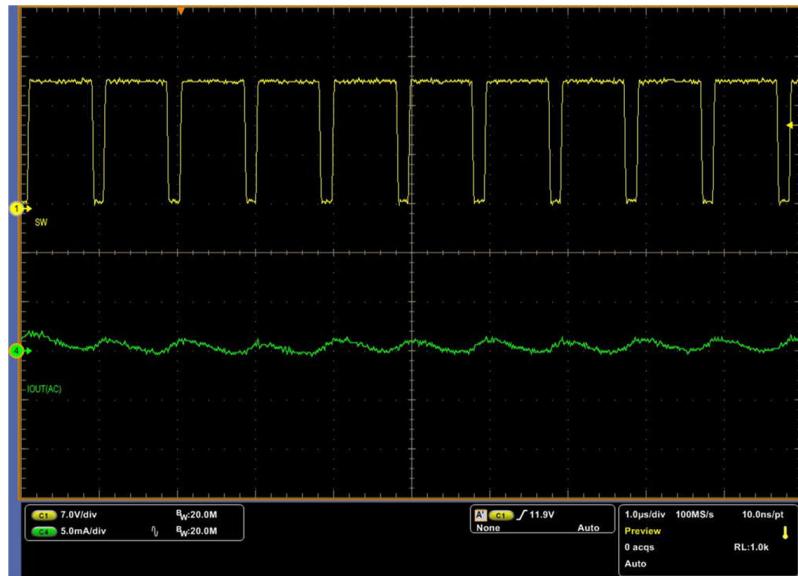


図 3-5. CC モードの電流リップル



図 3-6. CV モードの電圧リップル

3.2.2.3 効率テスト

図 3-7 に、0.1A ~ 1.0A でのバッテリ チャージャの効率曲線を示します。

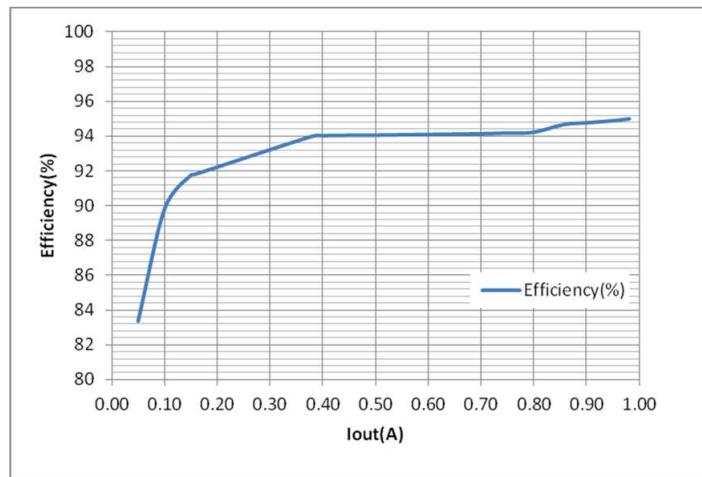


図 3-7. 効率と出力電流との関係

3.2.2.4 温度テスト

図 3-8 に、10 分間連続動作した後の基板の熱画像を示します。TPS92200 デバイスで観測される最高温度は 68.7°C です。

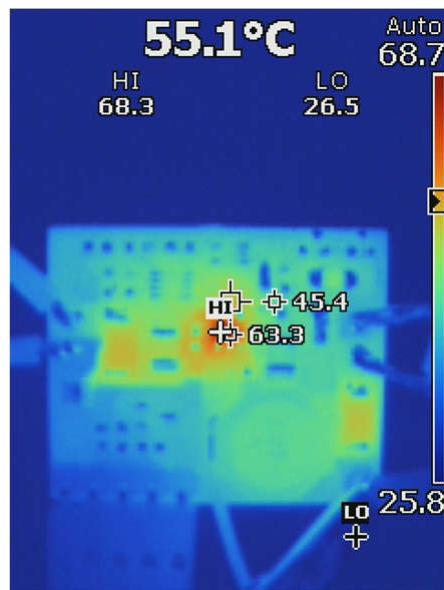


図 3-8. 温度テスト

3.2.2.5 電圧および電流閉ループ安定性

図 3-9 に、TIDA-050042 リファレンス デザインの電圧閉ループ安定性性能を示します。ゲイン クロスオーバー周波数は 730.92Hz、位相マージンは 99.9° です。これは、この制御回路が安定しており、十分な帯域幅を確保できることを意味します。

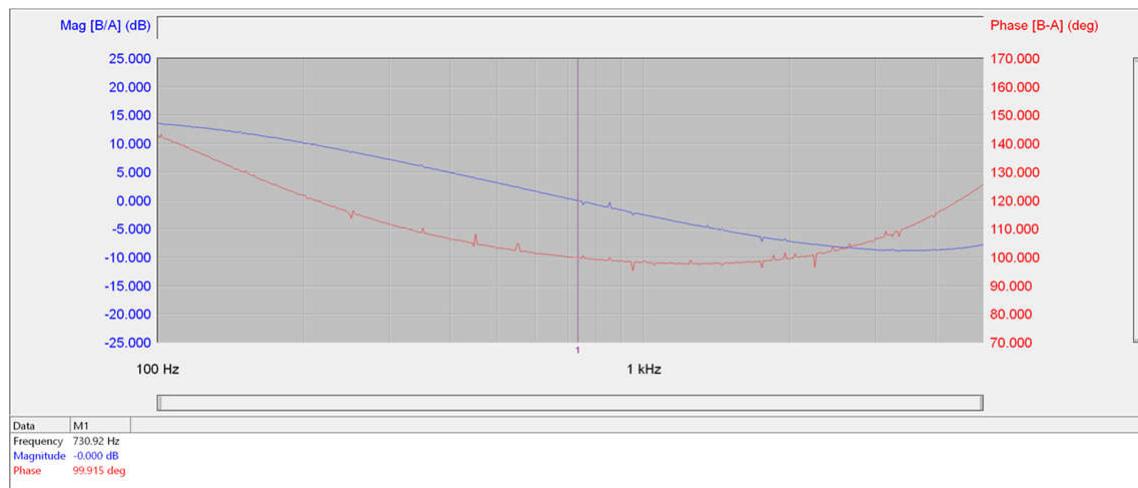


図 3-9. 電圧開ループ安定性

図 3-10 に、TIDA-050042 リファレンス デザインの電流閉ループ安定性性能を示します。ゲインクロスオーバー周波数は 24.52kHz、位相マージンは 90.3° です。これは、この制御回路が安定しており、十分な帯域幅を提供できることを意味します。

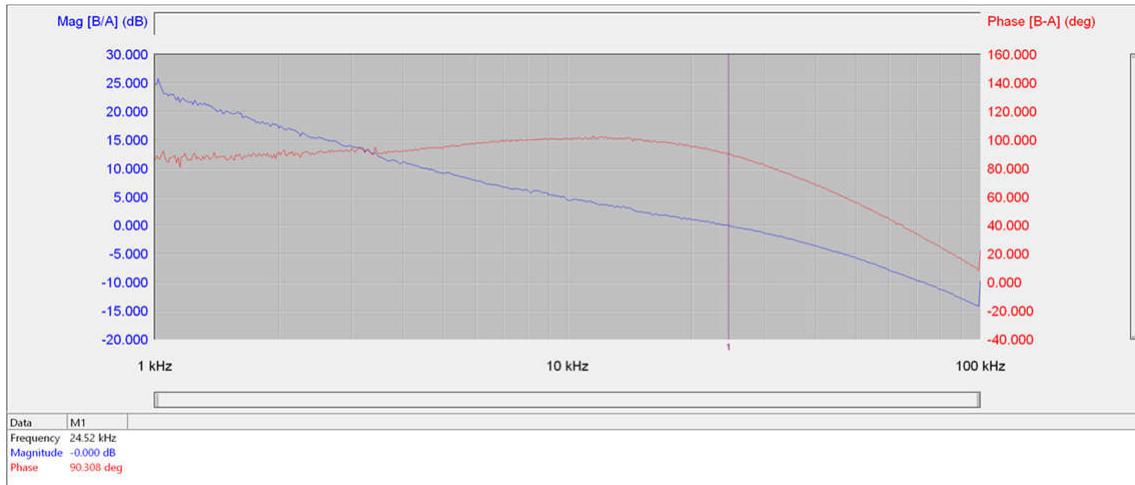


図 3-10. 電流開ループ安定性

3.2.2.6 充電プロファイル

このソリューションの充電プロファイルを 図 3-11 に示します。負荷は、保護回路を備えた 4S2P バッテリ パックを使用しています。

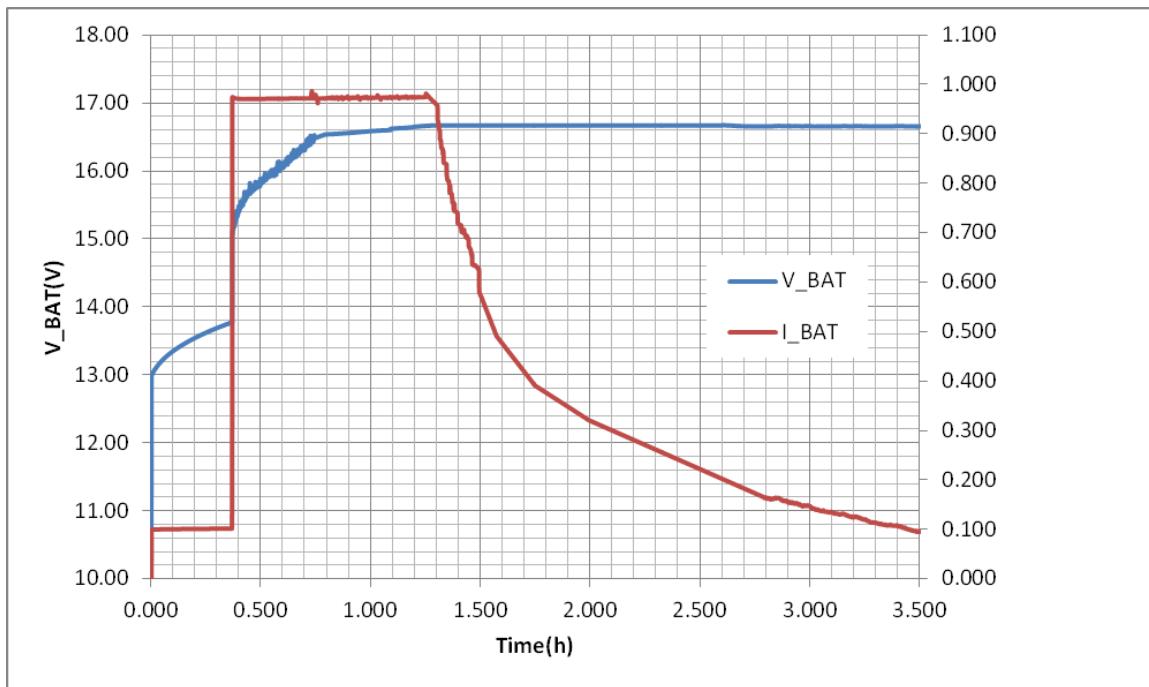


図 3-11. 充電プロファイル

充電プロファイルは、Pre-CC モード、CC モード、CV モードで構成されており、Pre-CC から CC、および CC から CV への変換は滑らかで安定性があります。

4 デザイン ファイル

4.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-050042](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.2 部品表

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-050042](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.3 PCB レイアウトに関する推奨事項

4.3.1 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-050042](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.4 Altium プロジェクト

Altium Designer® のプロジェクト ファイルをダウンロードするには、[TIDA-050042](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.5 ガーバー ファイル

ガーバー ファイルをダウンロードするには、[TIDA-050042](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.6 アセンブリの図面

アセンブリの図面をダウンロードするには、[TIDA-050042](#) のデザイン ファイルを参照してください。

5 ソフトウェア ファイル

ソフトウェア ファイルをダウンロードするには、[TIDA-050042](#) のデザイン ファイルを参照してください。

6 関連資料

1. テキサス インスツルメンツ、『[TPS92200 入力電圧 4V ~ 30V、出力電流 1.5A、同期整流降圧 LED ドライバ、フレキシブル調光オプション搭載](#)』データシート
2. テキサス インスツルメンツ、『[TLV900x 低電力、RRIO、1-MHz オペアンプ、低コストシステム用](#)』データシート
3. テキサス インスツルメンツ、『[TVS3300 33V フラットクランプ サージ保護デバイス](#)』データシート
4. テキサス インスツルメンツ、『[オープンドレイン出力、低消費電力、小型サイズコンパレータ](#)』データシート

6.1 商標

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

Altium Designer® is a registered trademark of Altium LLC or its affiliated companies.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

6.2 サード・パーティ製品に関する免責事項

サード・パーティ製品またはサービスに関するテキサス・インスツルメンツの出版物は、単独またはテキサス・インスツルメンツの製品、サービスと一緒に提供される場合に関係なく、サード・パーティ製品またはサービスの適合性に関する是認、サード・パーティ製品またはサービスの是認の表明を意味するものではありません。

7 著者について

Sean Zhou はテキサス インスツルメンツのアプリケーション エンジニアであり、さまざまなアプリケーション向け LED ドライバを使用したリファレンス デザイン ソリューションのサポートと開発を担当しています。

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默示保証、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、明示的または默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、(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](#)、[TIの総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#)またはTI製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。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。TIがカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TIの製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TIはそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025年10月