

## Design Guide: TIDA-010089

## 2 象限、15V、8A、プログラマブル線形 DC 電源のリファレンス設計



## 概要

このリファレンス設計は、 $\pm 0.02\%$  未満のフルスケール (FS) 電流および電圧の制御精度を実現する、低ノイズで高効率の双方向電源を示しています。この設計では、高精度の電流制御のためにアナログ帰還ループを活用し、電圧トラッキング回路を実装してソースモードのリニア段での消費電力を最小限に抑えます。これを実装することにより 120W の出力電力が可能となり、外部冷却を使用すると最大 25W 減衰できます。

## リソース

<a href="#">TIDA-010089</a>	デザインフォルダ
<a href="#">LM393BIDR, TMP708AIDBVR, TPSI305</a>	プロダクトフォルダ
<a href="#">TVS1801, LMR38010, CSD17575Q3</a>	プロダクトフォルダ
<a href="#">TLV709, LM2665, REF5025</a>	プロダクトフォルダ
<a href="#">DAC70502DRXR, OPA192IDBVT, INA818</a>	プロダクトフォルダ
<a href="#">LM358BIDGKR, TMUX4053, LM5146</a>	プロダクトフォルダ

## 特長

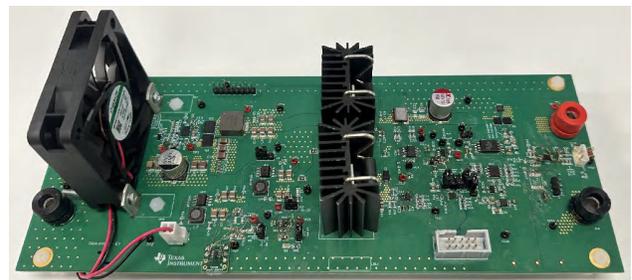
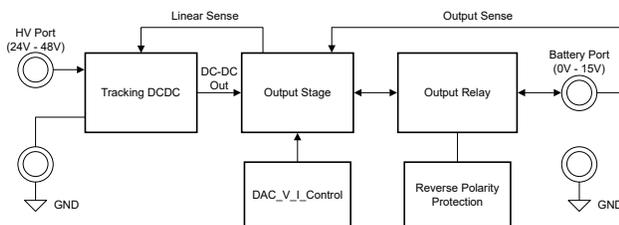
- 低ノイズ線形出力段、20MHz 帯域幅で 3mVpp の出力ノイズ
- $\pm 0.02\%$  フルスケール以上の精度による、正確な電流と電圧の制御
- ソース動作時の最大電力: 120W
- 最大電力シンク動作: 25W
- ソースモードで消費電力を最小化するトラッキング DC/DC

## アプリケーション

- バッテリセル形成とテスト機器
- プログラマブル DC 電源



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。



## 1 システムの説明

バッテリーテスト装置には、シングルセル、バッテリーモジュール、および高電圧バッテリーパックのテストに使用されるさまざまな装置が含まれています。この試験装置は、高精度の電源とデータ収集システムを搭載しており、バッテリーの充電と放電に使用され、セルのさまざまなパラメータを測定します。

図 1-1 は、リチウムイオン (Li-ion) バッテリーの簡略化した製造プロセスを示しています。最終段である、エンドオブラインコンディショニングには、セル形成とテストが含まれます。形成はリチウムイオン電池の製造において重要なステップです。形成中、セルは最初の充電と放電のプロセスを経て、固体電解質界面 (SEI) 層が形成されます。SEI 層の品質は、バッテリーセルの容量と信頼性に影響を及ぼします。形成プロセスを制御するために、セルの充電と放電に高精度のプログラマブル電源が使用されます。これらの電源は、バッテリー形成システムまたはバッテリーテストと呼ばれます。バッテリーテストに必要な電圧および電流の精度は、通常、フルスケールの  $\pm 0.02\%$  ~  $\pm 0.05\%$  の範囲内です。

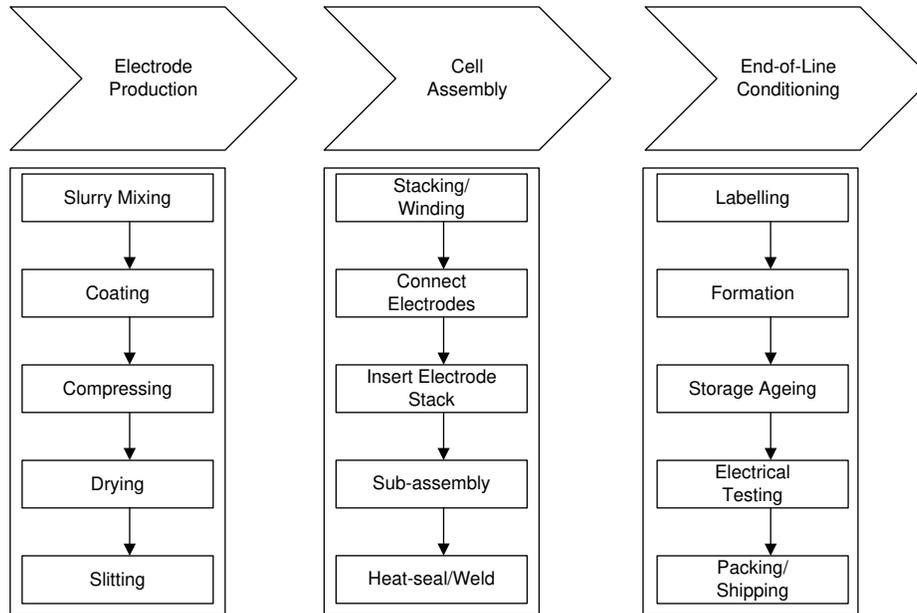


図 1-1. リチウムイオンバッテリーの製造プロセスの簡素化

### 1.1 主なシステム仕様

パラメータ	仕様
入力電圧	24V ~ 48V
出力電圧	0V ~ 15V
最大出力電流	$\pm 8A$
トポロジー	電圧トラッキング機能搭載 DC/DC + LDO
電力 (ソース)	120W
電力 (シンク)	8W (ファンなし)、25W(ファンあり)
電流と電圧の設定分解能	14b
電流レギュレーション誤差	$\pm 3mA$ (0.02% FS) 未満
電圧レギュレーション誤差	$\pm 3mV$ (0.02% FS) 未満

## 2 システム概要

### 2.1 ブロック図

図 2-1 に、リファレンス デザインのブロック図を示します。LM5146 は、別々の 2 象限線形電力段のヘッドルームを最小化するために、電圧トラッキング構成で使用される降圧コンバータです。INA818 を使用する高精度の電流センスを実装しており、LM358 を使用して出力電圧を測定します。電流と電圧のセンス信号は、パワー MOSFET (金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ) のゲート電圧を制御する、アナログ帰還ループに供給されます。出力電流と電圧を設定するために、14 ビット、2 チャネルの D/A コンバータ (DAC) である DAC70502 を使用しています。DAC は、USB2ANY アダプタを使用してプログラムされます。

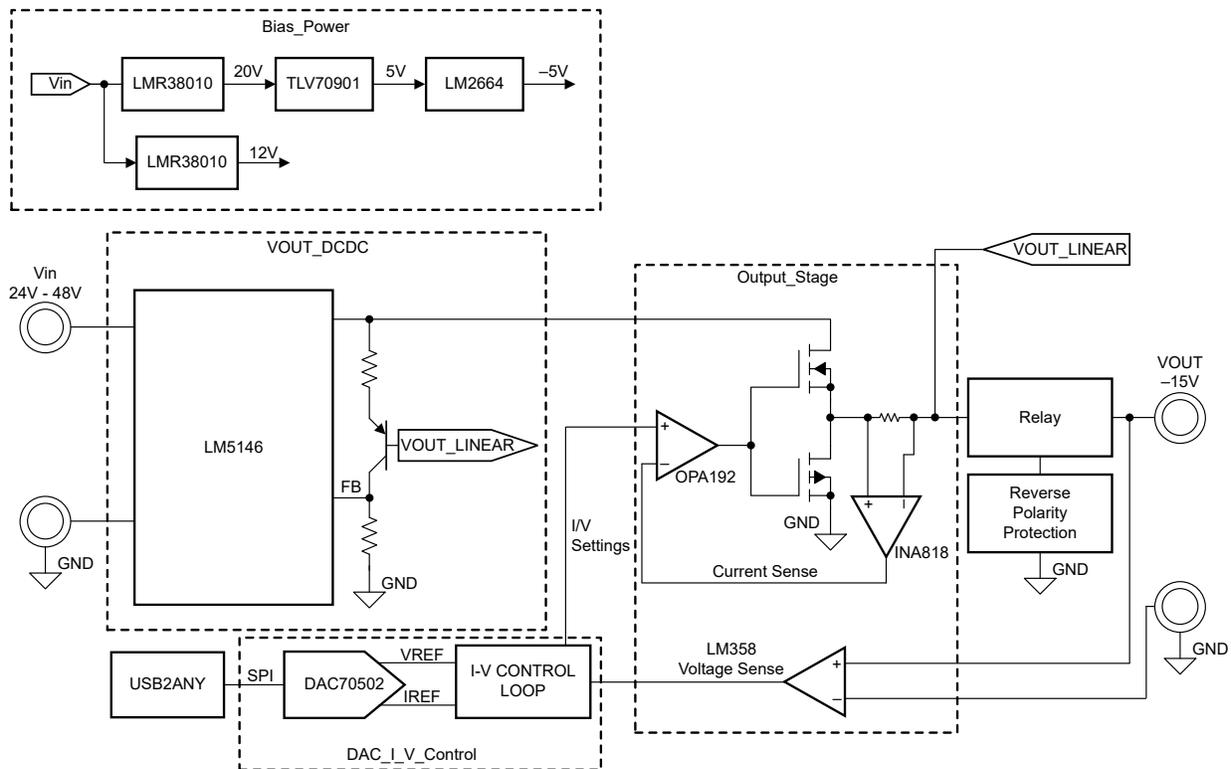


図 2-1. 線形バッテリー テスタ

### 2.2 設計上の考慮事項

このリファレンス設計は、出力電圧を柔軟に調整可能な低ノイズ 2 象限リニア電源を特長としています。効率を向上させるため、電圧トラッキング構成に LM5146 降圧コンバータを使用するトラッキング プリレギュレータを実装して、別々の 2 象限線形電力段のヘッドルームを最小限に抑えています。

INA818 を使用する高精度の電流センスを実装しており、LM358 を使用して出力電圧を測定します。電流と電圧のセンス信号は、パワー MOSFET のゲート電圧を制御するアナログ帰還ループに供給されます。出力電流と電圧を設定するために、14 ビット、2 チャネルの DAC である DAC70502 を使用しています。DAC は、USB2ANY アダプタを使用してプログラムされます。

### 2.3 主な使用製品

このリファレンス設計は、以下のデバイスを採用しています:

- DAC70502: デュアルチャネル、1-LSB INL、14 ビット、シリアル ペリフェラル インターフェイス (SPI)、電圧出力 D/A コンバータ (DAC)
- INA818:  $\pm 60V$  の過電圧保護機能搭載 (ゲインピン 1 と 8)、低消費電力 (350 $\mu A$ )、高精度計測アンプ
- OPA192: 高電圧、レールツーレール入出力、5 $\mu V$ 、0.2 $\mu V/^\circ C$ 、高精度オペアンプ
- LM5146: デューティサイクル範囲の広い 100V 同期整流降圧 DC/DC コントローラ

### 2.3.1 DAC70502:デュアルチャネル、1-LSB INL、14ビット、SPI電圧出力D/Aコンバータ(DAC)

DAC70502 デバイスは 1LSB 未満の線形性を実現しています。高精度かつパッケージが小型であるため、DAC70502 はゲインおよびオフセット較正、電流または電圧設定点生成、電源制御などのアプリケーションに非常に適しています。これらのデバイスには 2.5V、5ppm/°C の基準電源が内蔵されており、1.25V、2.5V、5V のフルスケール出力電圧範囲を実現します。

DAC70502 のデジタル インターフェイスは、SPI2C ピンを使用して SPI または I2C モードに構成できます。SPI モードの場合、DAC70502 は最高 50MHz のクロックレートで動作する汎用 3 線式シリアル インターフェイスを使用します。I2C モードでは、DAC70502 は標準 (100kbps)、高速 (400kbps)、高速プラス (1.0Mbps) の各モードで動作します。

重要な特長:

- 16 ビット性能: 1-LSB INL および DNL (最大値)
- シリアル インターフェイスをピンで選択可能
  - 3 線式、SPI 互換の最大 50MHz
  - 2 線式、I2C 互換
- 低消費電力: チャンネルあたり 1mA (5.5V 時)

### 2.3.2 INA818: 35 $\mu$ V オフセット、8nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ノイズ、低消費電力、高精度計測アンプ

INA818 は、広い電圧範囲の単一電源またはデュアル電源で動作する低消費電力の高精度計測アンプです。単一の外付け抵抗により、1~10000 の範囲で任意のゲインを設定できます。このデバイスは、電流を安定化させる帰還として機能する出力電流を表す差動電圧を測定および増幅させます。このデバイスはスーパーベータ入力トランジスタを内蔵しており、低い入力オフセット電圧、オフセット電圧ドリフト、入力バイアス電流、入力電圧、電流ノイズを実現します。

重要な特長:

- ゲインドリフト: 5ppm/°C (G = 1)、35ppm/°C (G > 1) (最大値)
- 帯域幅: 2MHz (G = 1)、270kHz (G = 100)
- 最大  $\pm 60\text{V}$  の入力保護
- 同相除去: 110dB、G = 10 (最小値)

### 2.3.3 OPA192: 高電圧、レール ツーレール入出力、5 $\mu$ V、0.2 $\mu$ V/°C、高精度オペアンプ

OPA192IDBVT は、レール ツーレールの入出力、低いオフセット ( $\pm 5\mu\text{V}$ 、標準値)、低いオフセットドリフト ( $\pm 0.2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、標準値)、10MHz の帯域幅などの優れた DC 精度と AC 性能を備えています。このようなアンプは、ターゲット信号を較正するための、高精度の定電流 (CC) ループ制御電圧を提供します。電源レールまでの差動入力電圧範囲、大きな出力電流 ( $\pm 6\text{mA}$ )、1nF までの大きな容量性負荷の駆動能力、高いスルー レート (20V/ $\mu\text{s}$ ) など独自の特長から、OPA192 は高電圧の産業アプリケーション向けの、堅牢で高性能なオペアンプです。

重要な特長:

- 広い電源範囲:  $\pm 2.25\text{V} \sim \pm 18\text{V}$ 、4.5V~36V
- 低いオフセット電圧ドリフト:  $\pm 0.2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- 広い帯域幅: 10MHz のゲイン帯域幅 (GBW)
- 低い静止電流: アンプ 1 個あたり 1mA

### 2.3.4 LM5146: デューティ サイクル範囲の広い 100V 同期整流降圧 DC/DC コントローラ

LM5146 100V 同期整流降圧コントローラは、高い入力電圧の電源、または高い過渡電圧が発生する入力レールからのレギュレーションを行い、外部のサージ抑制コンポーネントの必要性を最小限に抑えます。LM5146 は最低 5.5V の入力電圧ディップ中も動作を継続し、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、高性能の産業用制御、ロボティクス、データ通信、RF アプリケーションに理想的です。帰還ピンは、線形段の帰還を追跡するためのリファレンス電圧を提供します。

重要な特長:

- 広い入力電圧範囲: 5.5V~100V
- 帰還精度  $\pm 1\%$  の 0.8V リファレンス電圧
- 出力電圧を 0.8V~60V の範囲で調整可能

### 3 システム設計理論

#### 3.1 定電流制御設計

定電流制御設計には高精度の電流センサーが必要であり、正確で信頼性の高い電流測定を実行するには、分流抵抗を流れるバッテリー充電電流またはバッテリー放電電流を測定するための適切なオペアンプを選択することが極めて重要です。Y14770R00300F9R 分流抵抗は、パワーメタルストリップで構成された  $3\text{m}\Omega$  の抵抗を備え、電流検出に最適です。この分流抵抗の許容誤差は 1%、最大温度係数は  $\pm 40\text{ppm}/^\circ\text{C}$  であり、高精度で安定した性能を実現します。

分路の両端の電流信号を増幅するために、高精度計測アンプ INA818 を使用しています。アンプは入力と出力の電圧制限に直接影響を及ぼすため、適切な同相電圧の計測アンプを選択することが非常に重要です。計測アンプは、アプリケーションの同相電圧との互換性があり、CC 制御で正確かつ信頼性の高い電流測定を実行するために不可欠です。

テキサス・インスツルメンツのアナログエンジニア向け計算機を使用して INA818 の入力同相モードと制限を決定します。図 3-1 に計算結果が表示されます。最大同相電圧はバッテリー側の最大電圧と一致します。この場合は 15V です。INA818 は 20V と -5V で駆動され、DAC から生成されるリファレンス電圧は 2.5V です。ゲインを 66 に設定すると、結果には電流信号範囲 ( $\pm 8\text{A} \times 3\text{m}\Omega = 24\text{mV}$ ) 内に収まる入力範囲  $-111.4\text{mV} \sim 112.1\text{mV}$  が表示されます。

CC 制御ループに高精度のオペアンプも必要です。この機能には、最大入力オフセットドリフトが  $\pm 0.1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  の高精度ドリフトオペアンプ OPA192 を使用しています。

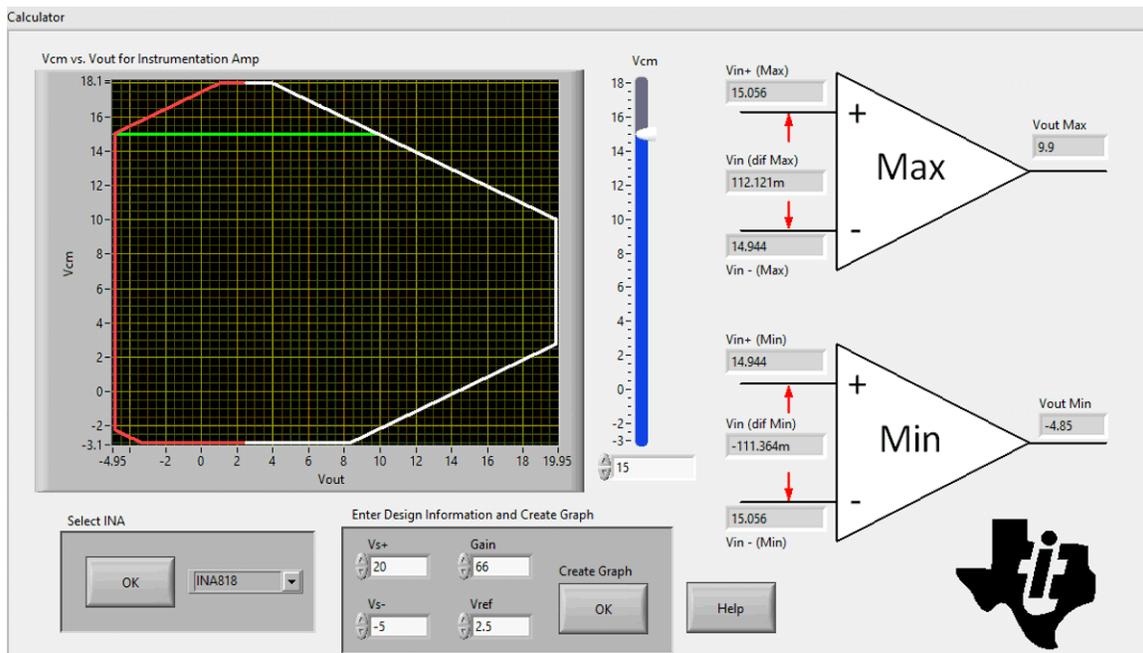


図 3-1. INA818 用 Vcm と Vout 計算機の比較

図 3-2 は CC 制御ループの回路図を示しています。電圧制御電圧源に接続された出力電圧は、DC/DC コンバータのトラッキング入力として機能し、 $V_{\text{DCDC}}$  を MOSFET のドレインに供給します。負荷条件に関係なく、 $V_{\text{DS}}$  を 1V に維持するため意図的に 1V の上昇が構成に含まれています。リファレンス電圧  $I_{\text{SET}}$  は、動作モードに応じて出力の電流または電圧を制御するために D/A コンバータ (DAC) から生成されます。もう 1 つの入力  $I_{\text{SENSE}}$  は、電流センス抵抗の両端の差動電圧を介して取得される電流帰還信号です。これらの信号は、エラーアンプ OPA192 で区別され、電流ループ制御が容易になります。小信号シミュレーションでは、1TF のコンデンサと 1TH のインダクタを  $I_{\text{SENSE}}$  に接続します。これは、コンデンサが DC で開いておりインダクタが短絡しているときに、帰還ループを切断するためです。高周波では、インダクタは開き、コンデンサは短絡されます。

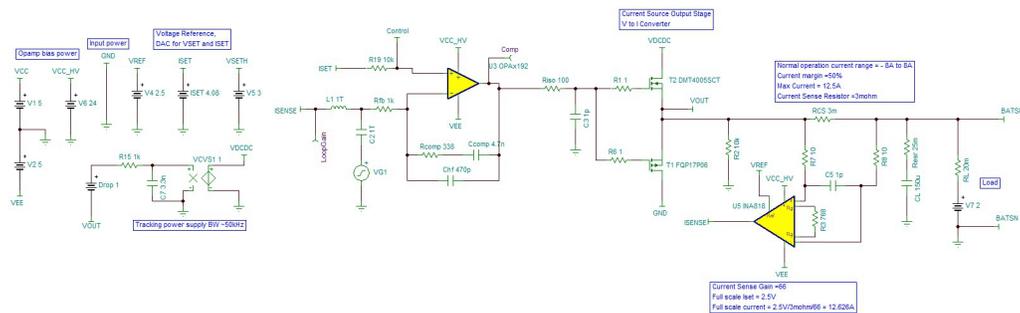


図 3-2. 定電流ループ シミュレーションの回路図

図 3-3 は CC シミュレーションの小信号を示しています。8A の定電流出力の位相マージンは 73.39° で、クロスオーバー周波数は 189.59kHz です。このシミュレーションは制御回路の安定性と帯域幅が十分であることを確認します。

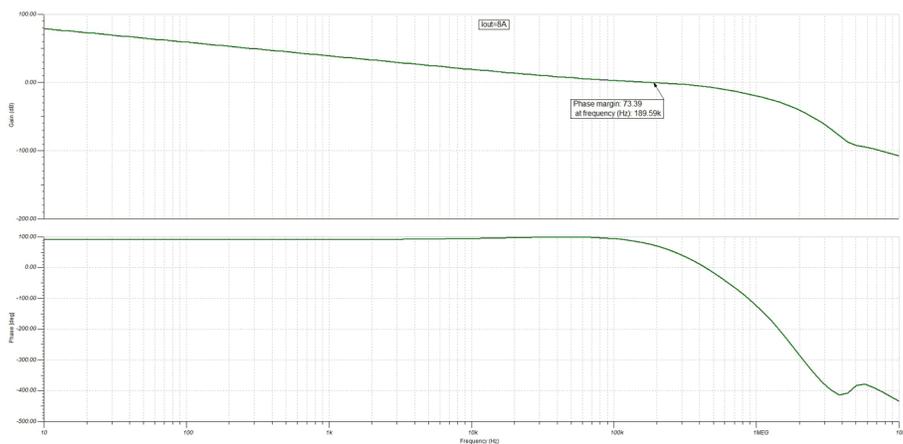


図 3-3. 電流ループ解析の安定性シミュレーション

出力電流を調整する電圧は、0V ~ 5V に設定できます。目的の電流設定の入力リファレンス電圧を計算するには 式 1 を使用します。このリファレンスリ デザインでは、8A の出力電流を生成するために、DAC の出力電圧  $I_{SET}$  を 4.08V に設定します。

$$I_{SET} = I_{desired} \times INA818 \text{ gain} \times R_{SENSE} + V_{REF} \tag{1}$$

### 3.2 定電流および電圧シミュレーション

図 3-4 は、CC および CV ループを使用したバッテリー充電回路のシミュレーションを示しています。CC および CV 制御ループは、D1 および R19 を介して相互接続されています。バッテリー充電環境のシミュレーションは出力キャパシタンス 10mF を使用して実行されます。

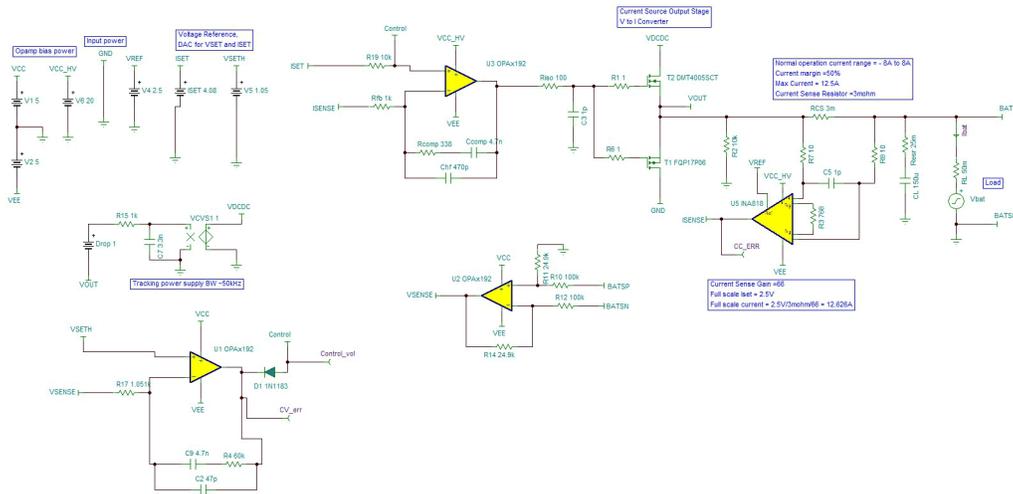


図 3-4. 定電流ループと定電圧ループを使用した電源

図 3-5 は、バッテリー充電プロセス中の CC から CV への遷移をキャプチャした過渡回路図を示しています。最初にバッテリーが消耗すると、CC 制御ループが有効になりバッテリーが 8A の定電流で充電されます。充電電流は、DAC ISET で決定されます。バッテリー容量が大きくなると CV 誤差アンプの出力電圧が低下し、徐々に CV 制御に移行します。この段階では、充電電流は徐々に減少し、充電電圧は一定のレベルに維持されます。最終的に、バッテリーがフル充電に達すると充電電流がゼロに近づき、電圧は DAC VSET のリファレンス電圧で設定された 4.2V で安定します。

$$V_{REF} = LM358B \text{ gain} \times V_{OUT} \tag{2}$$

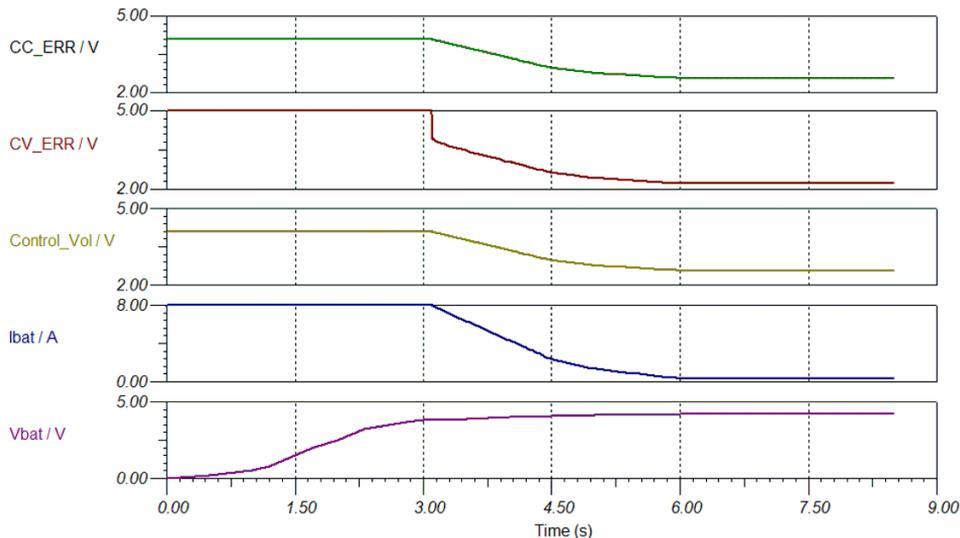


図 3-5. CC から CV への遷移

## 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 は、このリファレンス設計のハードウェア スナップショットを示しています。ジャンパ J9、J10、J12、J13 は、基板上の回路への電源レール接続を構成します。J5 ジャンパは、動作モードを構成するため、DAC でプログラムされたリファレンス電圧を制御システムに供給します。J7 は、ソリッドステートリレーを無効にして出力状態を中断できます。J8 は、帰還からのセンス信号に基づいて出力スイッチのリレー機能を制御し、回路を逆極性から保護します。

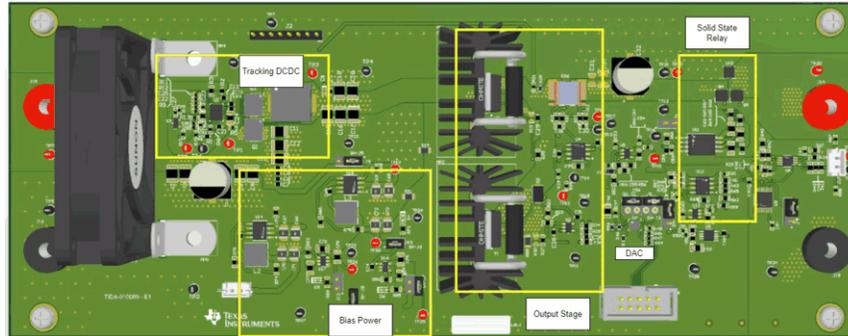


図 4-1. TIDA010089 ハードウェア

出力段の MOSFET はバッテリー側からのソース電流またはシンク電流のいずれかに関与し、通常動作を行うには両方の MOSFET から余分な熱を逃がす必要があります。この設計では、ヒート シンクとファンを使用して余分な熱を放散します。特に PMOS (P チャネル金属酸化半導体) は電流のシンクを処理し、より高い熱抵抗を持っています。ヒート シンクとファンの選択は、特定の消費電力の要件およびケース温度の条件によって異なります。この設計では、ファンなしでの目標消費電力は 8W で、選択したヒートシンクは 30ft<sup>3</sup>/分のエアフローで 20W 放熱する能力があります。これにより、システムの熱管理は信頼性の高い動作のための設計仕様を満たしていることを確認できます。

### 4.2 ソフトウェア要件

このリファレンス設計では、電流ループと電圧ループのリファレンス信号に、**USB2ANY インターフェイスアダプタ**を使用してプログラムされる DAC70502、14 ビット DAC を使用します。

新しい USB2ANY デバイスの初期セットアップでは、次の手順を実行します：

1. **USB2ANY Explorer** を開きます
2. **USB2ANY** の小さな穴の内側にあるボタンを押したままデバイスをコンピュータに接続します
3. デバイスが接続されるとアップデートのプロンプトが表示されます
4. ソフトウェアのアップデートを確認します
5. ボタンを放します

USB2ANY によりデバイスが適切に設定されます。

DAC を構成するには、次の手順を実行します：

1. **USB2Any Explorer** を開きます
2. **Select Interfaces** ボタンをクリックします。 **Select Interfaces** ウィンドウが開きます
3. **SPI** を選択します
4. **Select Interfaces** ウィンドウを閉じます
5. **USB2Any Explorer** ウィンドウで、アクティビティ ログの上の **SPI** を選択します。 **SPI** タブが表示されていない場合、タブが非表示である可能性があるため、アクティビティ ログの上の領域をクリックしてください。
6. ターミナルにデータコードを書き込み、目的の出力パラメータを生成します

図 4-2 はセットアップの GUI パラメータを示しています。

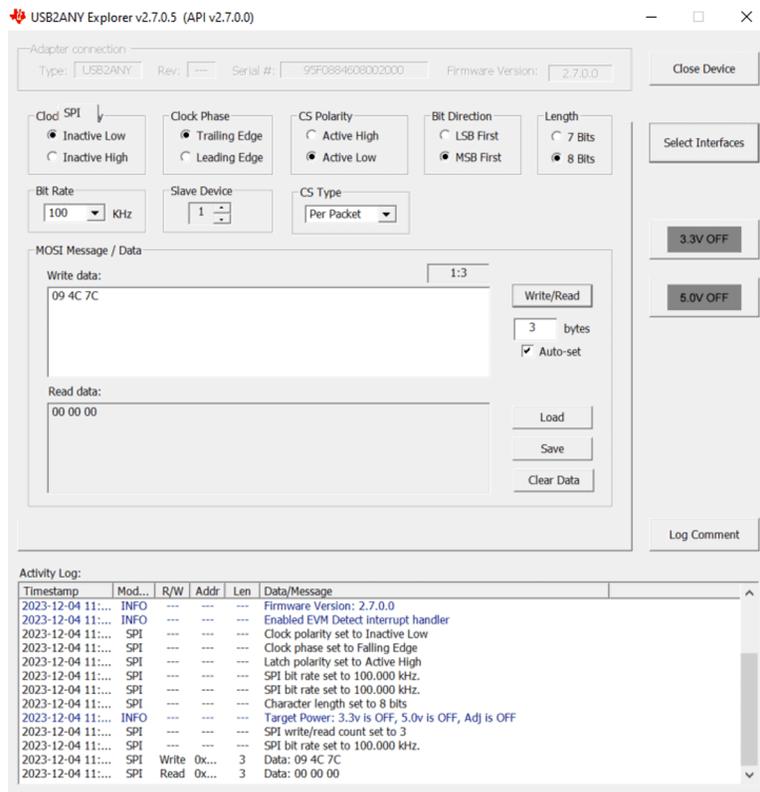


図 4-2. USB2ANY 構成

## 4.3 テスト設定

### 4.3.1 定電流テスト設定

図 4-3 は、定電流充電性能をテストするためのハードウェア設定を示しています。

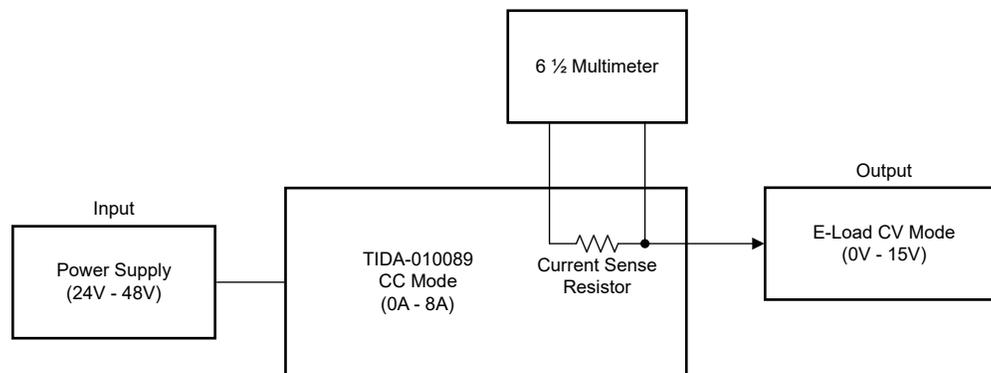


図 4-3. 定電流充電

最大 120W の電力を供給するように設計する場合、入力電源は充電モードをサポートするための十分な電力を供給する必要があります。出力の電子負荷 (e-load) は、バッテリー充電プロセスをシミュレートします。e-load を CV モードに設定し、電圧値が DAC で設定された出力電圧よりも低いことを確認します。開始時には  $V_{SET}$  が 2.5V であるため、開放負荷時の出力電圧は 10V になります。 $V_{SET}$  を変更せず、e-load を 10V 未満に設定します。

センス抵抗の両端の電圧を測定するため、TP9 に正のプロブを、TP10 に負のプロブを置いて、基板上的電流分流通抵抗の両端にマルチメータを接続します。この電圧を使用すると出力電流を計算できます。マイクロボルトの範囲で正確

な測定を実行するには、6.5桁マルチメータの使用をお勧めします。センス抵抗とINA818のゲイン抵抗のオフセットにより、分路の両端で計算された電流は、1mA～2mAのわずかな変動を示す可能性があります。

ハードウェアのセットアップが完了したら、入力電源のみをオンにして、e-load 電圧の読み取り値を観察します。この時点で、電子負荷は開放負荷電圧を測定するマルチメータとして機能します。電流ループが最初にアクティブになり、カスケード接続されたオペアンプと帰還抵抗のオフセットによって駆動されるため、読み取り値はある電圧から0ボルトまで低下する可能性があります。この時点で、定電流 (CC) ループの電圧レベルは低く、システムを制御します。中電圧より大きい  $I_{SET}$  のコードを印加して  $I_{REF}$  を増加すると D3 の両端の電圧制御信号が引き出され、定電圧 (CV) ループによりシステムを制御できるようになります。

図 4-4 は、CC 放電性能のテストに使用するハードウェア設定を示しています。

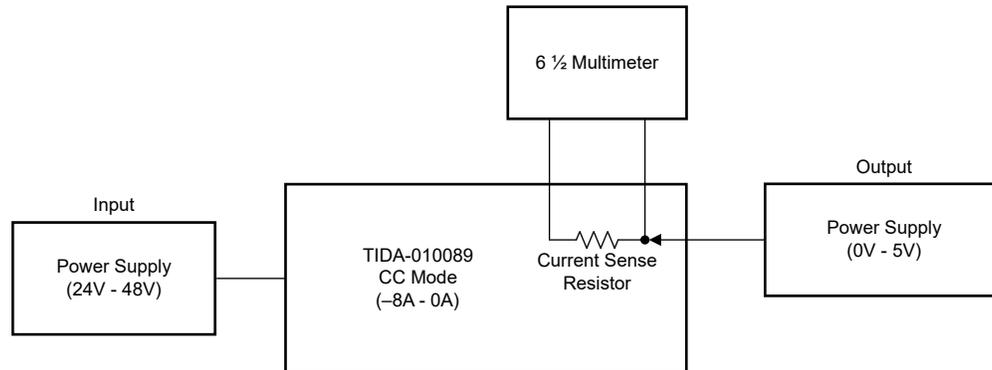


図 4-4. 定電流放電

正電流での CC ループ設定と同様ですが、唯一の違いは出力 e-load を電源に置き換えることです。ファンがオフのときは、電源装置を 8W の制限内に設定します。ファンがアクティブな場合、出力電源を設計の最大放熱に合わせて 20W の制限内に設定できます。ワット損が 20W を超えないようにするため、負の電流範囲全体で電源の電圧が 2.5V を超えないことを確認してください。

#### 4.3.2 定電圧テスト設定

図 4-5 は CV 制御ループのテスト設定を示しています。

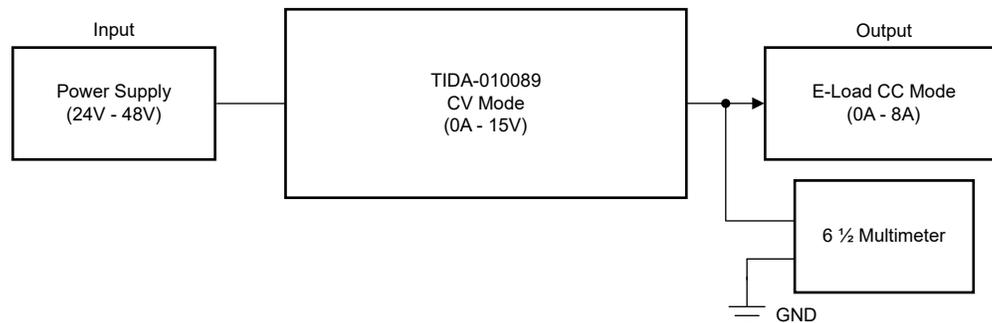


図 4-5. 定電圧テスト設定

安定した電圧ループを維持するため、e-load の設定電流が DAC で設定された制御電流より小さい値に設定してください。

6.5桁マルチメータの正のプロブを基盤の出力に接続して、電圧を mV 単位で正確に測定します。

## 4.4 テスト結果

### 4.4.1 電流制御の精度

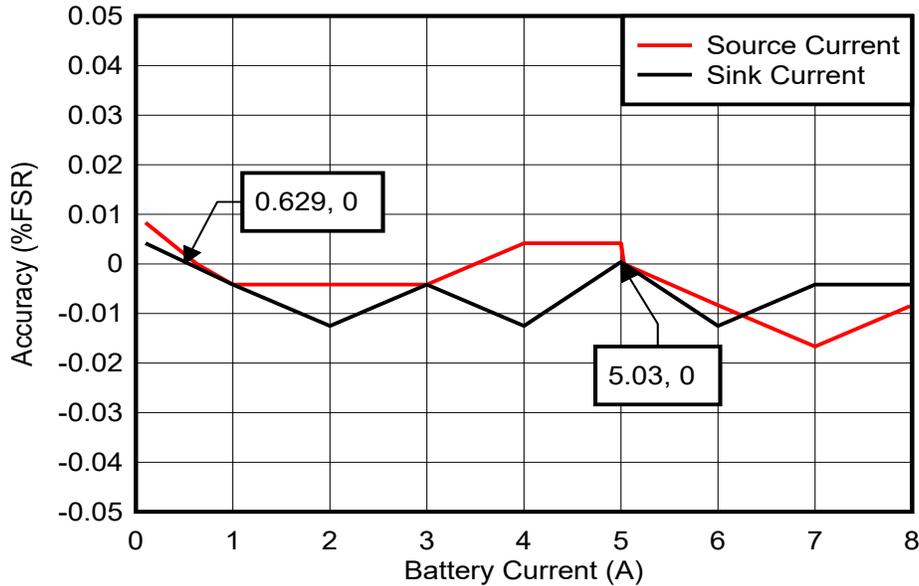


図 4-6. CC 制御の精度

電流ループは、出力電圧レベルの変化の影響を受ける可能性があります。制御ループへの影響を評価するには、負荷レギュレーションテストを実行します。表 4-1 は充電用の CC 負荷レギュレーション、表 4-2 は放電用の CC 負荷レギュレーションを示しています。

表 4-1. 充電用定電流負荷レギュレーション

フルスケール 定格 (FSR) (A)	8					
	0.1	1	2	4	6	8
$I_{SET}$ (A)						
CV E-LOAD	$I_{SENSE}$ (A)					
1	0.09987	1.00033	2.00033	3.99933	6.00033	7.99933
2	0.09933	1.00033	2.00033	3.99933	6.00033	7.99933
4	0.09933	1.00033	2.00000	4.00033	6.00067	8.00133
8	0.09967	1.00067	2.00067	4.00067	6.00167	8.00500
10	0.09967	1.00003	2.00033	4.00067	6.00167	8.00567
14	0.09967	1.00067	2.00067	4.00033	6.00133	8.00667
誤差 (% FSR)	0.00833	-0.00833	-0.00833	-0.00833	-0.02083	-0.08333

表 4-2. 放電用定電流負荷レギュレーション

FSR (A)	-8					
	0.1	1	2	3	4	5
$I_{SET}$ (A)						
CV 電 源 (バッテリー)	$I_{SENSE}$ (A)					
1	-0.10133	-1.00133	-2.00167	-3.00167	-4.00167	該当なし
2	-0.10167	-1.00167	-2.00167	-3.00167	-4.00167	-5.00167
3	-0.10167	-1.00167	-2.00167	-3.00167	-4.00167	-5.00167
4	-0.10167	-1.00167	-2.00167	-3.00167	-4.00167	-5.00167
4.2	-0.10167	-1.00167	-2.00167	-3.00167	-4.00167	-5.00167
誤差 (% FSR)	0.02083	0.02083	0.02083	0.02083	0.02083	0.02083

#### 4.4.2 電圧制御の精度

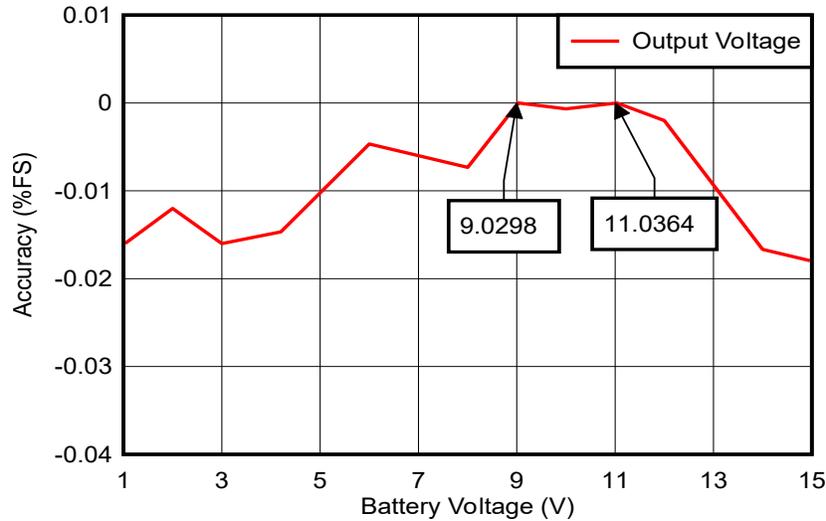


図 4-7. 電圧ループ直線性テスト

負荷から引き込まれる電流の違いも CV 制御の精度に影響を及ぼす可能性があるため、CV 負荷のレギュレーションテストが必要です。表 4-3 は、負荷電圧レギュレーションに対する定電流設定の変動を示しています。電流の変化によるデータの差は最小限です。

表 4-3. 異なる電流での電圧レギュレーション

FS (V)	15					
V <sub>SET</sub> (V)	1	2	3	4.2	8	15
CC モード I <sub>SET</sub> (A)	負荷電圧 (V)					
0.1	0.997423	1.99792	2.99827	4.19865	7.99858	14.9975
1	0.99751	1.998	2.99835	4.1987	7.9987	14.9977
2	0.99769	1.99819	2.99853	4.19888	7.99891	14.9978
4	0.99801	1.99853	2.99886	4.19923	7.99929	14.9981
6	0.998378	1.99887	2.99922	4.19957	7.9997	14.9984
7	0.99855	1.99904	2.99941	4.19965	7.99978	14.9985
誤差 (%FS)	0.011533	0.013867	0.01153	0.009	0.009467	0.01667

### 4.4.3 CC、CV 変換

完全なバッテリー構成プロファイルには、CC と CV の両方の制御が含まれています。このタスクを実行するには、CC と CV の変換がスムーズである必要があります。図 4-8 と 図 4-9 は、充電モードと放電モードの両方の、異なる電流設定による CC モードから CV モードへの変換について示しています。

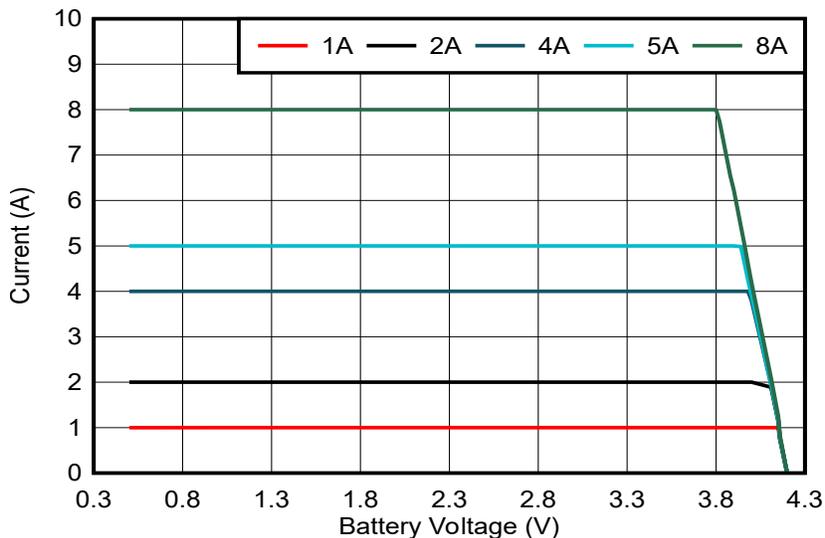


図 4-8. 異なる電流設定による CC CV 充電変換

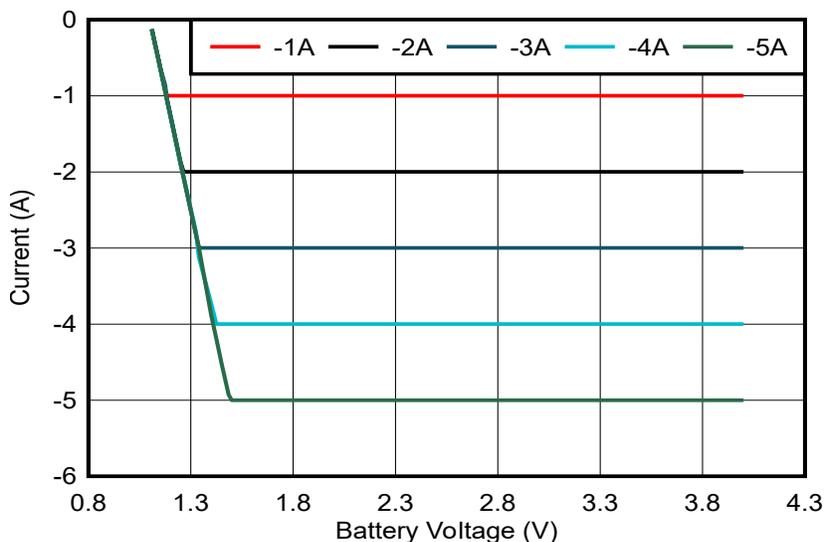


図 4-9. 異なる電流設定による CC CV 放電変換

#### 4.4.4 定電流過渡応答

図 4-10 は、180mA ~ 1.82A への電流遷移を示しています。立ち上がり時間は 1ms 未満です。このテストは、CV 状態で回路の電流を引き込むために、e-load を使用して実施されました。その結果、スムーズな電流遷移、高速なセトリングタイム、安定した電流ループ応答が得られています。

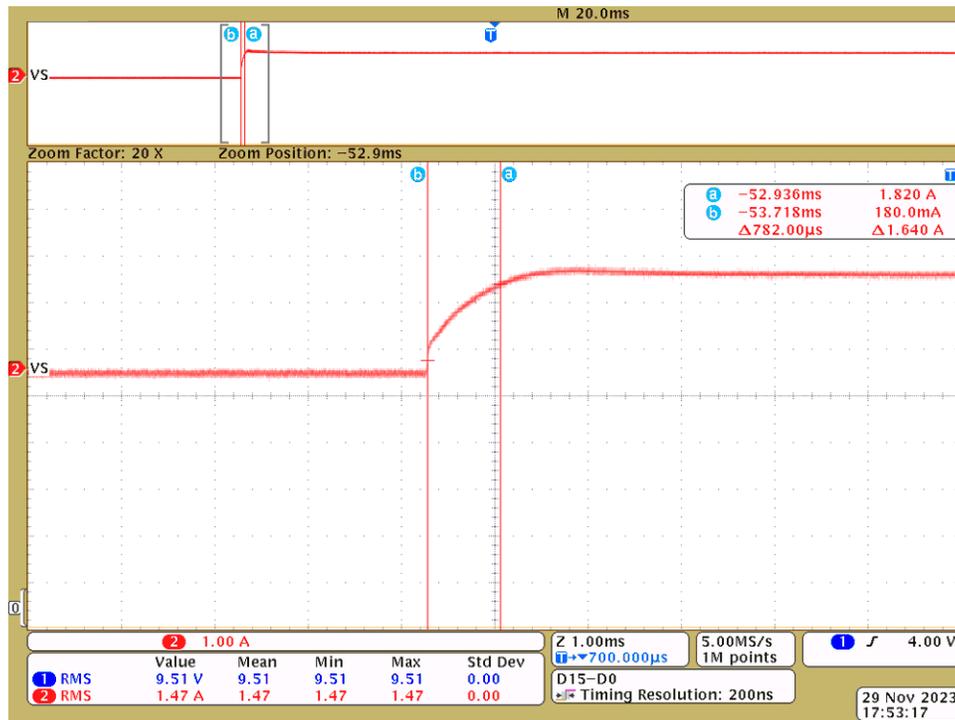


図 4-10. 電流遷移時の過渡応答

#### 4.4.5 定電圧過渡応答

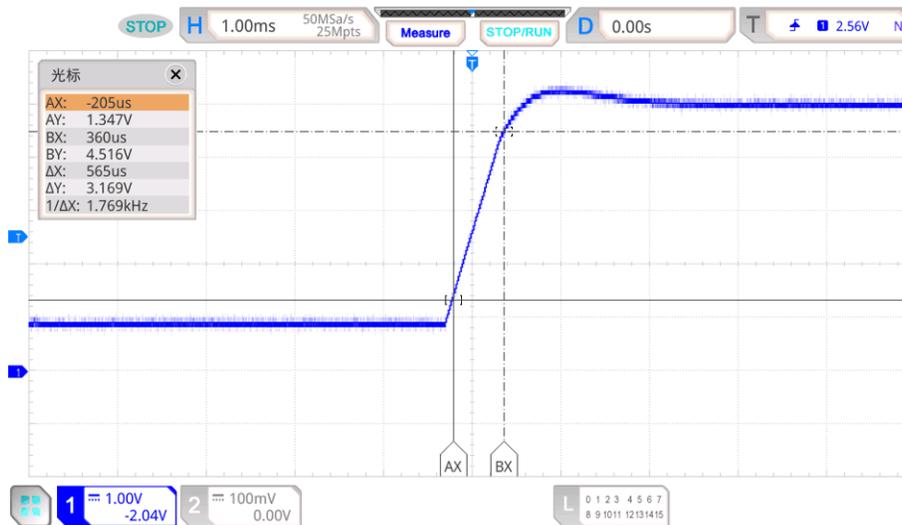


図 4-11. 電圧遷移時の過渡応答

#### 4.4.6 回路短絡時の電圧リップル

電圧リップルは短絡条件下で観測されます。このテストは、線形段サブシステムの出カコンデンサに接続した 10 個のプロブを使用した AC 結合下で実行されます。リップルはピークツーピークで約 3mV です。

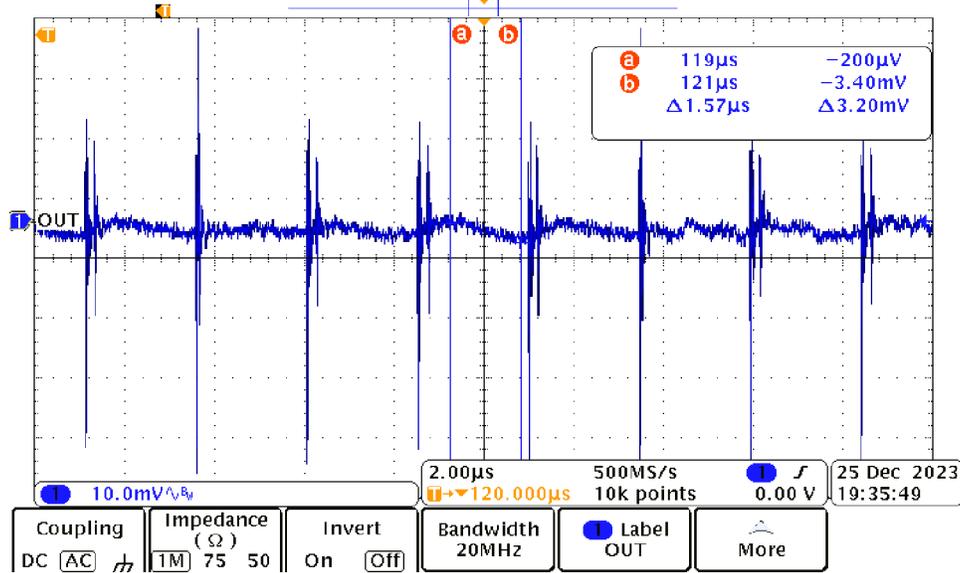


図 4-12. 短絡状況下の電圧リップル

#### 4.4.7 DC/DC 出力のトラッキング

電圧トラッキング回路により、リニア電力段に一定のヘッドルームが得られます。図 4-13 は、DC/DC 電源が線形段の出力をトラッキングしているときに、一定のヘッドルームが得られることを示しています。

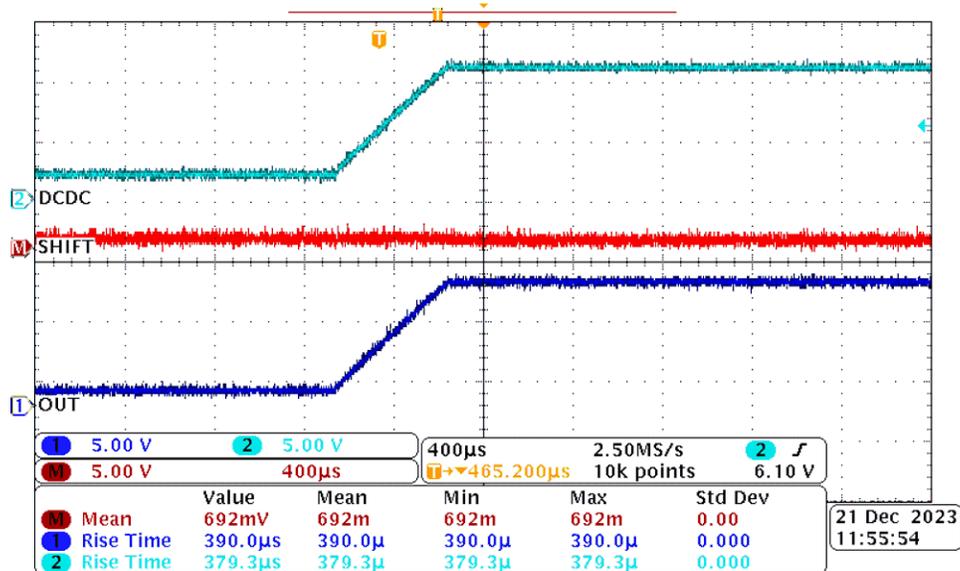


図 4-13. トラッキング DC-DC 信号 (シフト)

## 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-010089](#) のデザイン 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-010089](#) 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

[USB2ANY](#)                      USB2ANY インターフェイス アダプタ

### 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、『[DACx0502 高精度の内部リファレンス データシートを内蔵したデュアル、16 ビット、14 ビット、12 ビット、1-LSB INL の電圧出力 DAC](#)』
2. テキサス・インスツルメンツ、『[LM5146 広範なデューティ サイクル範囲データシートを内蔵した 100V 同期整流降圧 DC/DC コントローラ](#)』
3. テキサス・インスツルメンツ、『[INA818 35 \$\mu\$ V オフセット、8nV \$\sqrt{\text{Hz}}\$  ノイズ、低消費電力、高精度計測アンプ 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。

### 5.5 商標

テキサス・インスツルメンツの™ and テキサス・インスツルメンツ 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。

### 6 著者について

**SHAURY ANAND** は、テキサス・インスツルメンツのシステム エンジニアであり、テストおよび測定アプリケーションのリファレンス デザイン開発を担当しています。インド工科大学ローキー校で電気工学の学士号 (B.Tech) を取得しています。

**ETHAN YU** は、テキサス・インスツルメンツのシステム エンジニアであり、テストおよび測定アプリケーションのリファレンス デザイン開発を担当しています。Ethan はテキサス A&M 大学で電気工学の学士号を取得しています。

## 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