

Design Guide: TIDA-011004

宇宙グレード 3U VPX 電源モジュールのリファレンス デザイン



説明

このリファレンス デザインは、宇宙定格の 3U VPX アーキテクチャ用の VITA-62 規格に準拠した、宇宙グレードの電源モジュールです。Space VPX 規格は、さまざまなミッション プロファイルで使用できるモジュラーおよびスケラブルなシステムのフレームワークを定義することで、標準化と相互運用性を可能にします。このリファレンス デザインは、全体的な高性能を維持しながら、小さなフォームファクタに実装されています。

リソース

TIDA-011004	デザイン フォルダ
TPS7H5020-SEP	プロダクト フォルダ
TPS7H6015-SEP	プロダクト フォルダ
TPS7H6025-SEP	プロダクト フォルダ
TPS7H5005-SEP	プロダクト フォルダ
TPS7H4011-SEP	プロダクト フォルダ
TPS7H4013-SEP	プロダクト フォルダ
TPS7H1121-SEP	プロダクト フォルダ
OPA4H199-SEP	プロダクト フォルダ
TMP9R01-SEP	プロダクト フォルダ
THVD9491-SEP	プロダクト フォルダ
MSP430FR5969-SP	プロダクト フォルダ
TL1431-SP	プロダクト フォルダ

特長

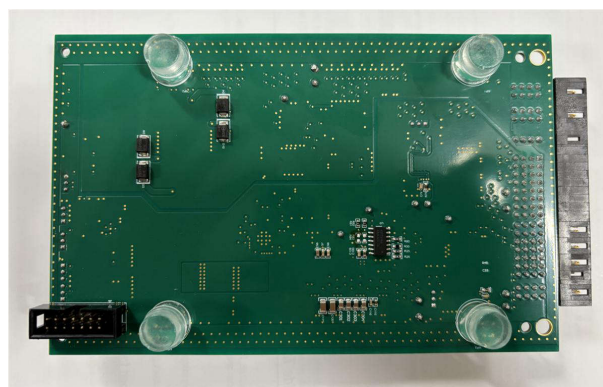
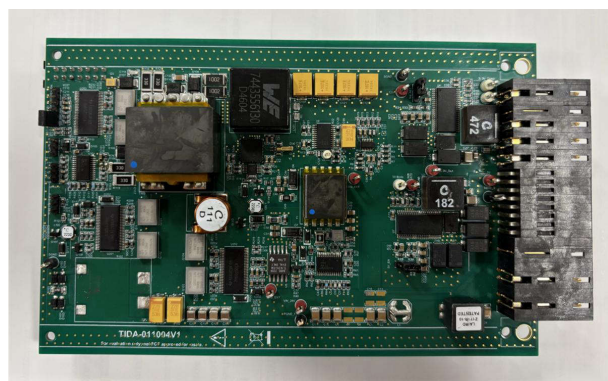
- 公称入力電圧 28V の 300W 電源モジュール
- 複数の電圧レール: 12V で 18A、5V で 12A、3.3V で 3A
- 各出力レールの過電流保護、温度センシング、オンボードのマイコン
- VITA62 規格の機械的要件に準拠し、オンボードの VPX 電源コネクタを含む
- サイズ: 3U Space VPX フォーム ファクタ (100mm × 160mm)

アプリケーション

- 衛星用電源システム (EPS)
- 電力制御とディストリビューション ユニット (PCDU)
- 宇宙グレード絶縁型 DC/DC モジュール
- 宇宙グレード ポイント オブ ロード (PoL) DC/DC モジュール



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

TIDA-011004 は、次に示す複数のサブシステムで構成されます：

- EMI フィルタ
- ハウスキーピング用の 1 次側のレギュレートされたフライバックトポロジ
- フルブリッジ ZVS DC/DC コンバータ (28V → 12V)
- ポイント オブ ロード降圧レギュレータ (12V → 5V および 12V → 3.3V)
- テレメトリ用の電力分配
- テレメトリと保護

ハウスキーピング用の 1 次側のレギュレートされたフライバックトポロジ

このリファレンス デザインは、TPS7H5020-SEP PWM コントローラを使用して、1 次側のレギュレートされたフライバックコンバータ用の GaN FET を駆動します。この段は、公称 28V の入力を、次の 2 つの絶縁型 12V 出力に変換します：

- 1 次側 12V バイアス (1 次側グラウンドを基準とする) - フルブリッジ ゲートドライバに電力を供給します
- 2 次側 12V バイアス (2 次側グラウンドを基準とする) - 2 次側ゲートドライバ、制御回路、テレメトリ システムに電力を供給します

フルブリッジ ZVS DC/DC コンバータ (28V → 12V)

主電力変換段はフルブリッジトポロジを使用し、次の特徴があります：

- TPS7H5005-SEP PWM コントローラ (2 次側を基準とする)
- 3 つの TPS7H6005-SEP ハーフブリッジ ゲートドライバ：
 - より高い負荷の状況でゼロ電圧スイッチング (ZVS) を実現するため、2 つの 1 次側ドライバが PWM モードで動作
 - 1 つの 2 次側ドライバが 2 次側整流器を制御し、変換効率がさらに向上
- 全体で GaN FET を使用し、スイッチング性能が向上

ポイント オブ ロード降圧レギュレータ

2 つの降圧コンバータが、12V フルブリッジ出力から 3.3V と 5V の電圧を生成：

- TPS7H4011-SEP: 12V → 5V 降圧レギュレータ
- TPS7H4013-SEP: 12V → 3.3V 降圧レギュレータ
- どちらも 500kHz のスイッチング周波数で動作し、絶縁バリアの 2 次側に配置

テレメトリ用の電力分配

- LDO レギュレータ: 2 次側 12V バイアスから 3.3V レールを生成
- 3.3V LDO レール: マイクロ コントローラ、RS-485 トランシーバ、温度センサに電力を供給
- 2 次側 12V バイアス: 電流監視用のクワッド オペアンプに電力を供給

テレメトリと保護

- I²C インターフェイス経由で温度を監視する目的で、リモート ダイオードが 2 次側整流器の近くに配置された温度センサ
- クワッド オペアンプ (3 チャネルがアクティブ) により、3 つのレール (12V、5V、3.3V) すべての出力電流を監視
- マイコン：
 - 3 つの ADC 入力をオペアンプの出力に接続して電流を測定
 - 3 つの GPIO 出力を電力段のイネーブル ピンに接続して過電流から保護
 - I²C インターフェイスによる温度監視
- RS-485 通信インターフェイス (3U VPX フォーム ファクタの統合機能のデモンストレーション)

1.1 用語

EPS	電力システム
PCDU	電力制御および分配ユニット
PoL	ポイント オブ ロード
ZVS	ゼロ電圧スイッチング
PWM	パルス幅変調
EMI	電磁干渉
GaN	窒化ガリウム
FET	電界効果トランジスタ
LDO	低ドロップアウトレギュレータ
ADC	A/D コンバータ
GPIO	汎用入出力

2 システム概要

表 2-1. 電圧と電流の要件

パラメータ	仕様
入力電圧	22V ~ 36V、公称 28V
出力電圧と電流	12V で最大 18A、5V で最大 12A、3.3V で最大 3A
スイッチング周波数	500kHz

2.1 ブロック図

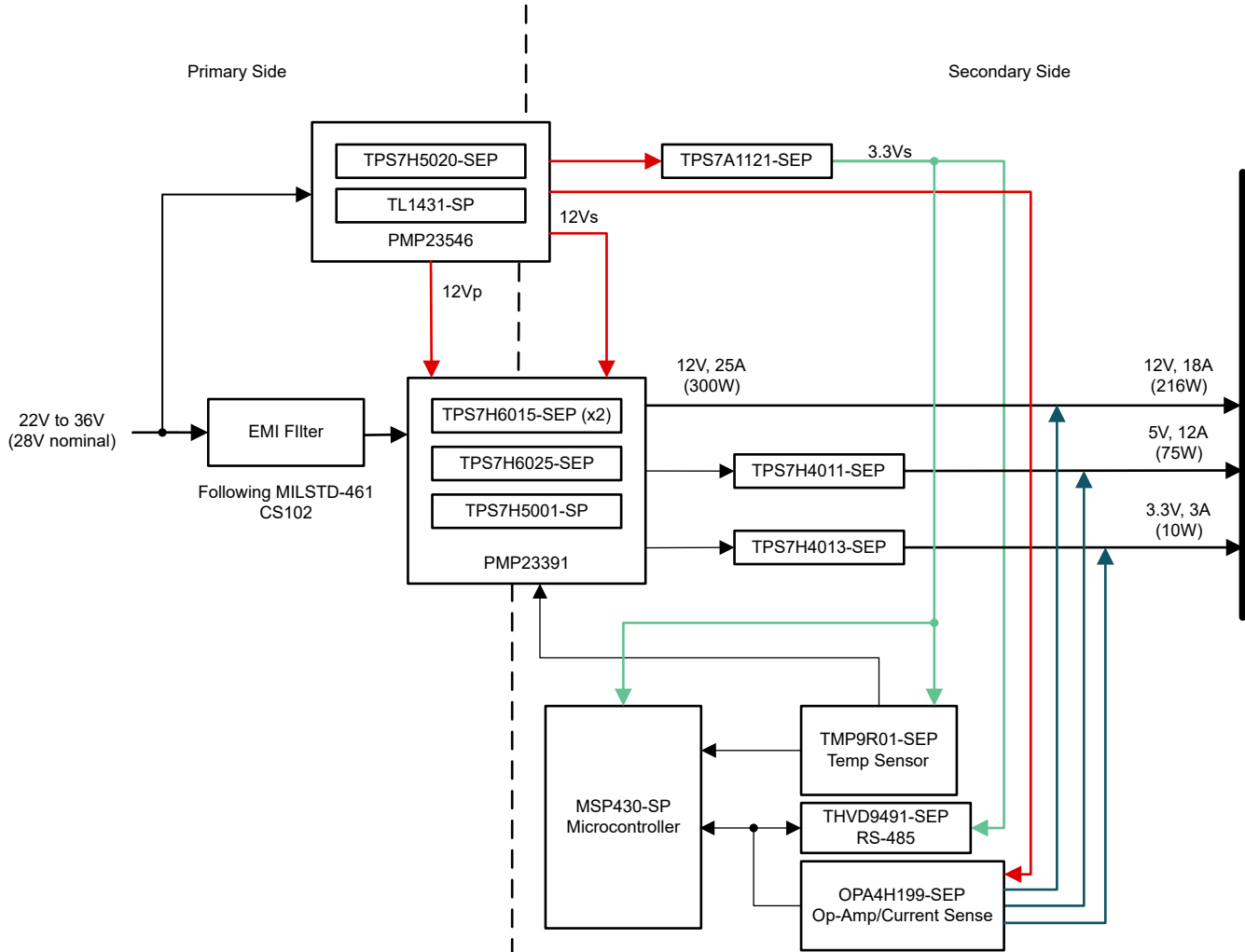


図 2-1. TIDA-011004 のブロック図

2.2 設計上の考慮事項

以下のセクションでは、最終的なアプリケーションに基づき、このリファレンス デザインのサブシステムで使用される基本的な設計上の考慮事項について説明します。

2.2.1 パーツの選定

部品の選定において重要な検討事項となったのは、ミッション放射線プロファイル全体でのスケーラビリティでした。選択されたすべてのパワー マネジメント デバイスには、ピン互換の QMLP 代替品が存在するため、基板の再設計やレイアウトの変更を必要とせず、低放射線の環境からより高放射線の環境までシームレスにスケーリングできます。この方式は、単一の PCB 設計で複数のミッション プロファイルをサポートできるため、開発コストの削減に役立ちます。放射線耐性範

囲の全体にわたって電氣的互換性を維持することで、基準としてベースアーキテクチャを維持しながら、さまざまなミッション要件を満たすように迅速に適応が可能です。

また、この設計ではサイズ、効率、コストがこの順で優先されています。VPX 3U フォームファクタはサイズの制約が厳しいため、基板面積が主要な検討事項です。供給可能な出力電力を最大化するため、効率が 2 番目に優先されました。この設計は、変換損失の入力電力を浪費することなく、使用可能なすべての入力電力を使用します。コストは、サイズと効率の要件が満たされた後でのみ検討されました。結果として、小さなフォームファクタで最大の電力供給能力が達成されました。

2.2.2 EMI フィルタ

この設計は、MIL-STD-461 の CS102 EMI 要件に従っています。このリファレンスデザインでは EMI フィルタテストは行われていません。フィルタの部品選択のガイドになるよう、シミュレーションが開発されました。図 2-2 に、SIMPLIS™ で行われた EMI フィルタシミュレーションの出力を示します。図 2-3 に、EMI フィルタが規格の要件にどのように適合するかを示します。

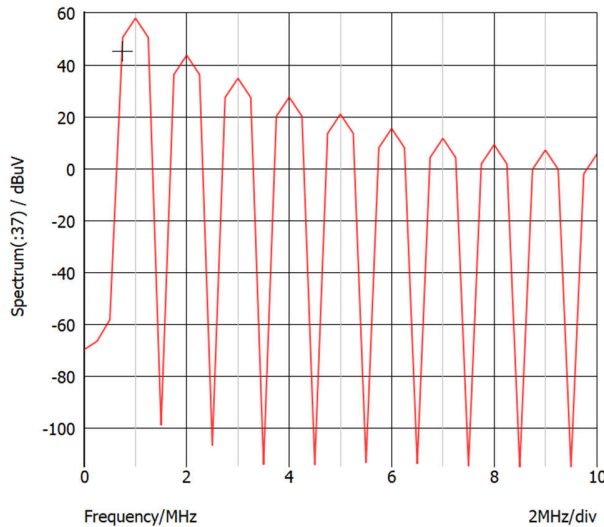


図 2-2. SIMPLIS モデルからの EMI フィルタ出力

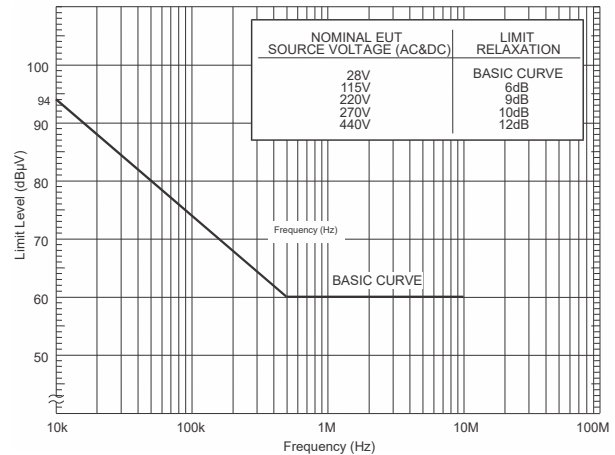


図 2-3. MIL-STD-461 CS102 からの EMI フィルタの要件

2.2.3 フルブリッジの 2 次側制御

この設計の ZVS フルブリッジ部分には、高速な過渡応答により動的負荷に対して高速な応答が可能という利点から、2 次側制御が選択されました。さらに、2 次側制御により直接的な過電流保護が可能で、システム全体の堅牢性が向上するように設計されています。

この設計は、1 次側制御に変更可能です。この構成では、ISOS510-SEP が 2 次側からフィードバック信号をコントローラに転送できます。

2.3 主な使用製品

以下のセクションでは、ハウスキーピング電源、フルブリッジトポロジ、スイッチングレギュレータ出力、テレメトリのリファレンスデザインで使用される主な製品について説明します。

2.3.1 TPS7H5020-SEP/TPS7H5020-SP

TPS7H5020-SEP と TPS7H5020-SP は、放射線耐性が強化された電流モードのシングルエンド PWM コントローラで、統合されたゲートドライバを内蔵しています。TPS7H502x は、シリコンベースおよび窒化ガリウム (GaN) パワー半導体ベースの両方のコンバータ設計で使用できます。これらのコントローラは、ソフトスタート、イネーブル、調整可能なスロープ補償などのいくつかの主要な機能を統合しながら、小さなパッケージサイズを維持しています。これらのコントローラは、0.6V ±1% の電圧リファレンス公差を備えており、高精度なパワーコンバータ設計をサポートします。

2.3.2 TPS7H6015/25-SEP/TPS7H6015/25-SP

TPS7H60x5 シリーズの放射線耐性保証 (RHA) 窒化ガリウム (GaN) 電界効果トランジスタ (FET) ゲートドライバは、高周波数で高効率の大電流アプリケーション向けに設計されています。このシリーズは、TPS7H6005 (200V 定格)、TPS7H6015 (60V 定格)、TPS7H6025 (22V 定格) で構成されています。いずれのデバイスも 56 ピン HTSSOP プラスチック パッケージを採用しており、QMLP と宇宙用強化プラスチック (SEP) グレードの両方で供給されます。本ドライバは調整可能なデッドタイム機能、30ns の小さい伝搬遅延、5.5ns のハイサイド/ローサイド マッチングを特長としています。また、これらの部品はハイサイドおよびローサイド LDO を内蔵しており、電源電圧にかかわらず 5V の駆動電圧を生成します。TPS7H60x5 ドライバには分割ゲート出力があり、出力のターンオンとターンオフの強度を別々に調整可能な柔軟性があります。

2.3.3 TPS7H5005-SEP/TPS7H5001-SP

TPS7H500x-SEP シリーズ (TPS7H5005-SEP、TPS7H5006-SEP、TPS7H5007-SEP、TPS7H5008-SEP が含まれます) は、宇宙用強化プラスチックに搭載された高速で放射線耐性のある PWM コントローラのファミリです。このコントローラは、宇宙アプリケーションを目的とした DC/DC コンバータトポロジの設計に役立つ多くの機能を備えています。このコントローラは 0.613V +0.7%/-1% の高精度内部リファレンスを備えており、最大 2MHz のスイッチング周波数を構成できます。各デバイスは、プログラム可能なスロープ補償およびソフトスタート機能を備えています。

2.3.4 TPS7H4011-SEP/TPS7H4011-SP

TPS7H4011 は、14V、12A の同期整流降圧コンバータで、宇宙環境での使用に最適化されています。このピーク電流モード コンバータは、優れた過渡性能と部品点数の低減により、高効率を実現しています。TPS7H4011 は電圧範囲が広いので、ポイント オブ ロードレギュレータとして 12V または 5V レールからの直接変換に使用できます。起動時の出力電圧ランプは、SS_TR ピンによって制御されます。EN および PWRGD ピンにより電源シーケンスが可能です。このデバイスは、電流能力を高めるため、外部クロックなしで最大 4 つのデバイスを並列に構成できます。さらに、差動リモートセンシング、選択可能な電流制限、柔軟なフォルト入力ピン、構成可能な補償などの各種機能が搭載されています。

2.3.5 TPS7H4013-SEP/TPS7H4013-SP

TPS7H401x デバイスは、14V の同期整流降圧コンバータで、宇宙環境での使用に最適化されています。TPS7H4012 は 6A デバイスで、TPS7H4013 は 3A デバイスです。このピーク電流モード コンバータは、優れた過渡性能と部品点数の低減により、高効率を実現しています。TPS7H401x は電圧範囲が広いので、ポイント オブ ロードレギュレータとして 12V または 5V レールからの直接変換に使用できます。起動時の出力電圧ランプは、SS_TR ピンによって制御されます。EN および PWRGD ピンにより電源シーケンスが可能です。さらに、各デバイスに最適化された電流制限、柔軟なスイッチング周波数、構成可能な補償機能など、さまざまな機能が搭載されています。

2.3.6 TPS7H1121-SEP/TPS7H1121-SP

TPS7H1121 は、耐放射線特性をもった低ドロップアウトのリニアレギュレータ (LDO) で、広い入力電圧範囲で動作し、宇宙環境で使用されるデバイスへの電力供給に最適化されています。デバイスは 2.25V ~ 14V の入力で、最大 2A の電流を供給できます。このデバイスは安定性が優れており、広い範囲で調整可能な電流制限機能を搭載しています。FPGA、DSP、マイクロコントローラの複雑な電力要件に対応するため、TPS7H1121 にはイネーブル オンおよびオフ機能、ソフトスタートのプログラム機能、パワー グッドのオープンドレイン出力が搭載されています。

2.3.7 OPA4H199-SEP/OPA4H199-SP

OPA4H199-SEP は、宇宙アプリケーション向けの高電圧 (40V) 汎用オペアンプです。このデバイスは、レールツーレール入出力、低いオフセット (標準値 $\pm 125\mu\text{V}$)、低いオフセットドリフト (標準値 $\pm 0.3\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)、低ノイズ (10.8nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ および 1.8 μVPP)、4.5MHz の帯域幅など、非常に優れた DC 精度と AC 性能を備えています。OPA4H199-SEP は、電源レールまでの差動および同相入力電圧範囲、大出力電流 ($\pm 75\text{mA}$)、高スルーレート (21V/ μs)、高い容量性負荷ドライブ (1nF) などの独自の機能を持ち、高電圧の宇宙アプリケーション向けの堅牢な高性能オペアンプです。

2.3.8 TMP9R01-SEP

TMP9R01-SEP デバイスは、放射線耐性があり高精度で低消費電力のリモートおよびローカル温度センサで、12 ビット ADC、バイアス電流、温度センシング用のオンチップ較正回路を内蔵しています。このデバイスは 10 ピン VSSOP プラスチック封止パッケージで供給されます。外付け BJT トランジスタ、または FPGA、ADC、ASIC に内蔵されているダイオードと接合部を介してバイアス電流を強制的に供給することにより、本デバイスは結果として得られる ΔVBE をデジタル化

し、0.0625°C の温度分解能で直接報告します。2 番目のオンチップ センサはローカル温度を測定し、オンボードの温度センシングを可能にします。

TMP9R01-SEP デバイスには、直列抵抗の相殺、プログラム可能な非理想係数 (η 係数)、オフセット補正、プログラム可能なデジタル フィルタなど、複数の較正および保護機能が搭載されています。ユーザーは、ALERT 出力を駆動する高温と低温の制限を設定し、過熱および低温からの保護を行うことができます。I2C および SMBus シリアル インターフェイスは、同じ I2C バス上で最大 9 つの異なるピン プログラマブル アドレスを受け付けます。TMP9R01-SEP デバイスは、より高い放射線仕様を持つ QMLV (TMP461-SP) および QMLP (TMP9R01-SP、リリース前) バージョンでも供給されます。

2.3.9 THVD9491-SEP

THVD9491-SEP は、データおよびイネーブル ロジック信号用の 1.65V~5.5V のロジック電源と、3V~5.5V のバス側電源を使用する、宇宙用強化型 $\pm 40V$ 故障保護機能付き全二重 RS-422/RS-485 トランシーバです。このデバイスはスレーブ選択機能を備えており、これを使うと、SLR ピンの設定に基づいて 2 つの最大速度でこのデバイスを使うことができます。IEC ESD 保護機能を内蔵しているため、システムレベルの外部保護部品は不要です。 $\pm 12V$ の入力同相範囲により、長いケーブルを使用する場合や、グラウンド ループ電圧が大きい場合でも、信頼性の高いデータ通信が可能です。250mV のレシーバ ヒステリシスを強化することで、高いノイズ除去性能を実現します。また、レシーバのフェイルセーフ機能により、入力が開放または短絡した場合、出力が確実に論理 High に固定されます。

2.3.10 MSP430FR5969-SP

MSP430™ 超低消費電力 (ULP) FRAM プラットフォームは、独自の組み込み FRAM と包括的な超低消費電力システムアーキテクチャとを組み合わせ、より低いエネルギー バジレットで性能向上を可能にした、イノベータ向けの製品です。FRAM テクノロジーにより、SRAM の速度、柔軟性、耐久性と、フラッシュの安定性および信頼性の両方が、はるかに低い消費電力で得られます。MSP430FR5969-SP の超低消費電力アーキテクチャには 7 つの低消費電力モードがあり、電力効率の高い分散テレメトリおよびハウスキーピング システムを実現するよう最適化されています。MSP430FR5969-SP にはミクスト シグナル機能が搭載されているため、次世代宇宙船の分散テレメトリ アプリケーションに最適です。このデバイスには、単一イベント ラッチアップおよび総電離線量への強い耐性があるため、宇宙や放射線にさらされる各種環境で使用できます。

2.3.11 TL1431-SP

TL1431 は高精度にプログラム可能な電圧リファレンスであり、該当する車載、民生、防衛用温度範囲全体にわたって熱的な安定性が規定されています。出力電圧は、2 つの外付け抵抗を使用して、 $V_{I(\text{ref})}$ (約 2.5V) から 36V までの範囲で任意の値に設定できます。このデバイスの出力インピーダンスは 0.2 Ω (代表値) です。このデバイスは、アクティブ出力回路による非常に鋭いターンオン特性を備えているため、オンボード レギュレーション、可変電源、スイッチング電源などのアプリケーションにおいて、ツェナー ダイオードやその他の電圧リファレンスの優れた代替品となります。

3 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

3.1 ハードウェア要件

- 電源: 定格 30V、15A
- 3 つの電子負荷
- デジタル マルチメータ
- オシロスコープ
- ファン

3.2 ソフトウェア

- CCStudio™ ソフトウェア
- MSP-FET

3.3 テスト設定

このデザインは、リファレンス デザインの VPX コネクタに取り付けられたバックプレーン コネクタを使用してテストされました。2309390-1 が搭載されたバックプレーンは、オンボードのコネクタで動作するため、このリファレンス デザインを簡単にテストできます。基板を正しくセットアップするには、特定のバックプレーン配線に従います。

このリファレンス デザインをテストするため、TI は Pixus Technologies の PIBV62 インターフェイス ボードを購入しました。このボードは、リファレンス デザインのコネクタに接続します。このリファレンス デザインは、アライメントキー 1 (入力電圧) が 0° にキー設定され、これは 18VDC ~ 36VDC の公称入力電圧範囲に対応しています。出力は最終的な出力電力を意図したもので、アライメントキー 2 (出力電圧) は 0° にキー設定され、これは PO1 = 12VDC、PO2 = 3.3VDC、PO3 = 5VDC に対応しています。図 3-1 に、Pixus から提供された回路図を示します。この回路図で、次の構成が行われました:

- PE1 = 28V 電源
- PE2 = 28V 電源グラウンド
- PE4 = 12V 電子負荷
- PE5 = 3.3V 電子負荷
- PE6 = 5V 電子負荷
- PE7 = 2 次側グラウンド

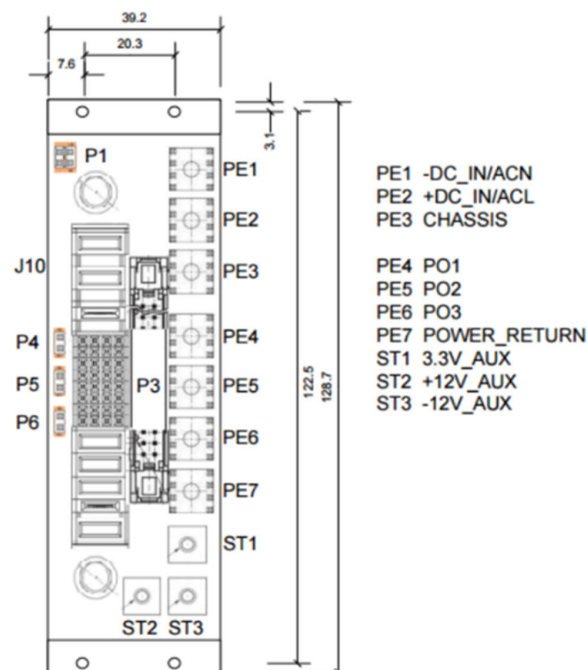


図 3-1. Pixus Technologies のテスト用バックプレーン コネクタの回路図

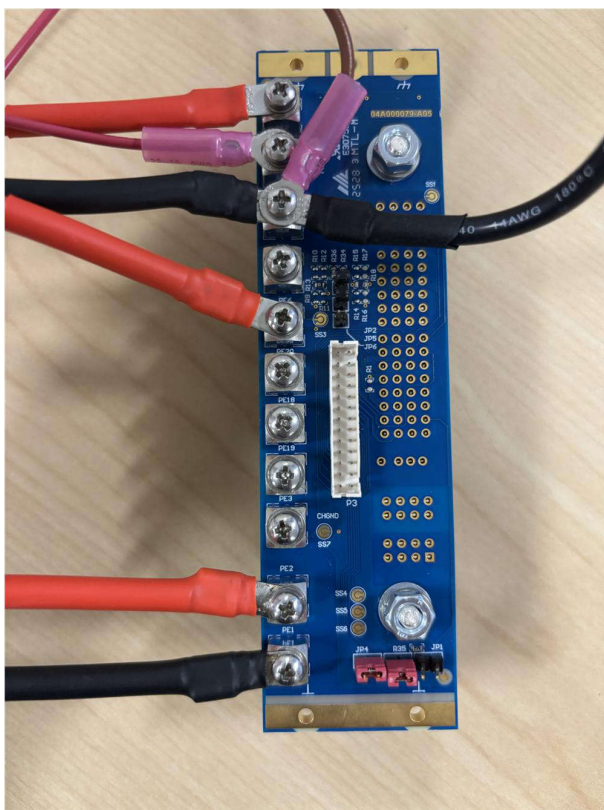


図 3-2. バックプレーンの裏面

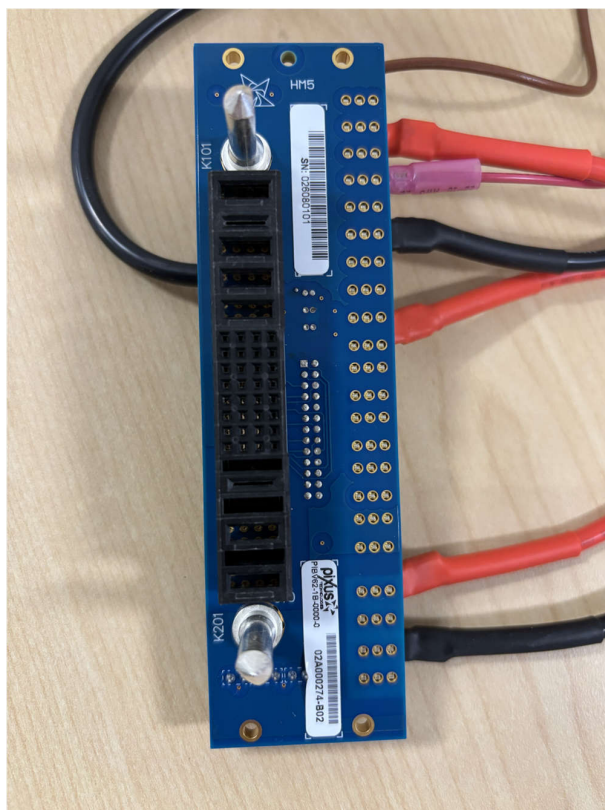


図 3-3. バックプレーンの前面

このリファレンス デザインの全負荷条件をテストするときは、エア フローが推奨されます。

3.4 テスト結果

TIDA-011004 のテスト結果の概要を、以下に示します。特に記述のない限り、測定はレールの全負荷で行われました。入力電圧は EMI フィルタの後で測定されました。また、ファンによりエア フローが提供されました。

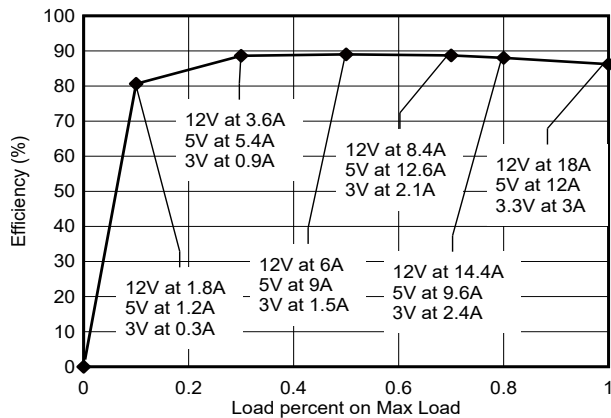


図 3-4. 公称 28V 入力時のフル PSU の効率

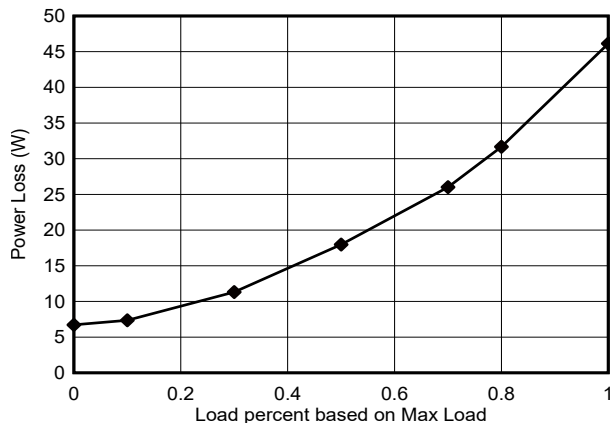


図 3-5. 公称 28V 入力時のフル PSU の電力損失

表 3-1. 28V 入力での効率と電力損失のデータ

入力		出力						合計		
電圧 (V)	電流 (A)	5V レール電圧 (V)	3.3V レール電圧 (V)	12V レール電圧 (V)	5V レールの電流 (A)	3.3V レールの電流 (A)	12V レールの電流 (A)	最大荷重に基づく荷重パーセント	効率 (%)	電力損失 (W)
27.99	0.240	5.013	3.322	12.09	0	0	0	0%	0	6.718

表 3-1. 28V 入力での効率と電力損失のデータ (続き)

入力		出力						合計		
電圧 (V)	電流 (A)	5V レール電圧 (V)	3.3V レール電圧 (V)	12V レール電圧 (V)	5V レールの電流 (A)	3.3V レールの電流 (A)	12V レールの電流 (A)	最大荷重に基づく荷重パーセント	効率 (%)	電力損失 (W)
27.97	1.359	5.012	3.322	12.09	1.600	0.299	1.790	10%	80.643	7.358
27.92	3.562	5.011	3.323	12.08	4.000	0.898	5.390	30%	88.626	11.312
27.87	5.871	5.012	3.323	12.08	6.400	1.498	8.990	50%	89.017	17.971
27.82	8.286	5.013	3.324	12.08	8.800	2.099	12.700	70%	88.717	26.009
27.80	9.5253	5.015	3.324	12.07	10.000	2.398	14.500	80%	88.041	31.667
27.74	12.054	5.018	3.325	12.07	12.400	2.998	17.999	100%	86.203	46.133

3.4.1 12V 出力レールのテスト結果 (フルブリッジ)

以下の結果は、このリファレンス デザインの位相シフトされたフルブリッジ部分のものです。

ボード線図は、公称入力電圧 (28V)、全負荷で測定されました。

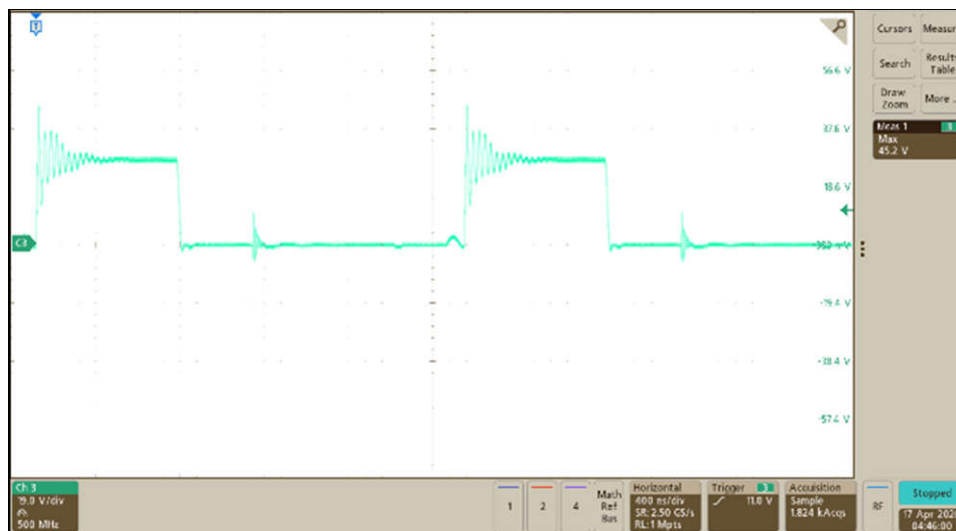
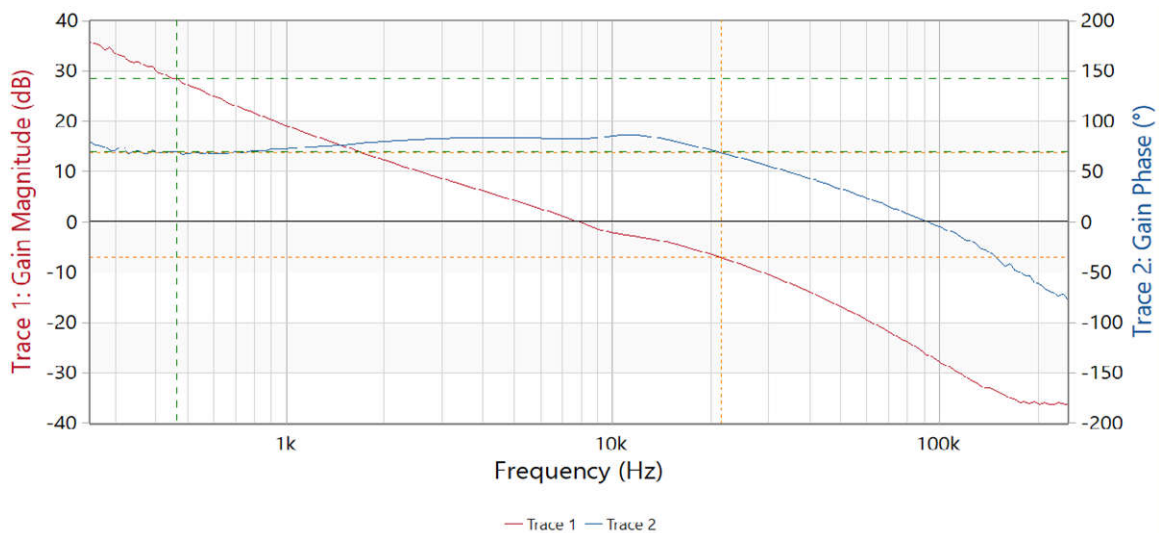


図 3-6. 1 次側スイッチ ノード、28V 入力

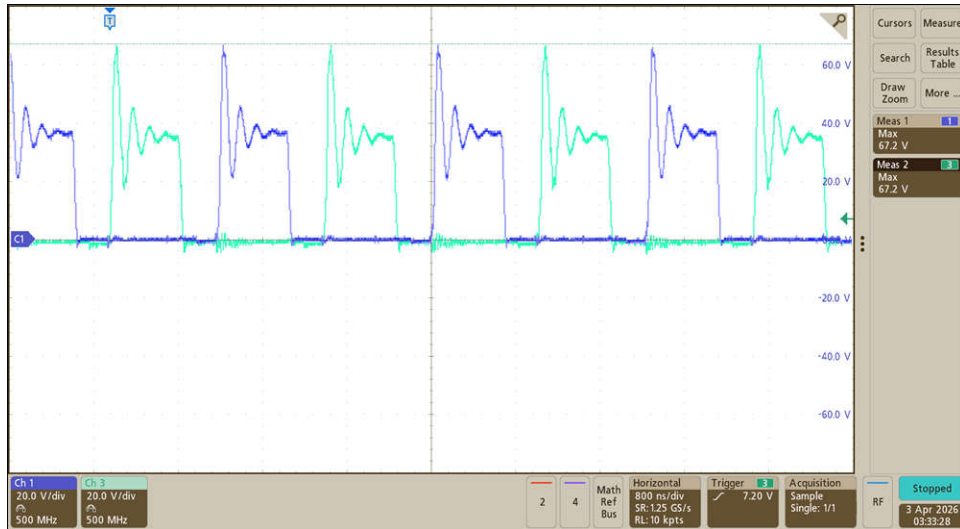


図 3-7. 2 次側スイッチ ノード

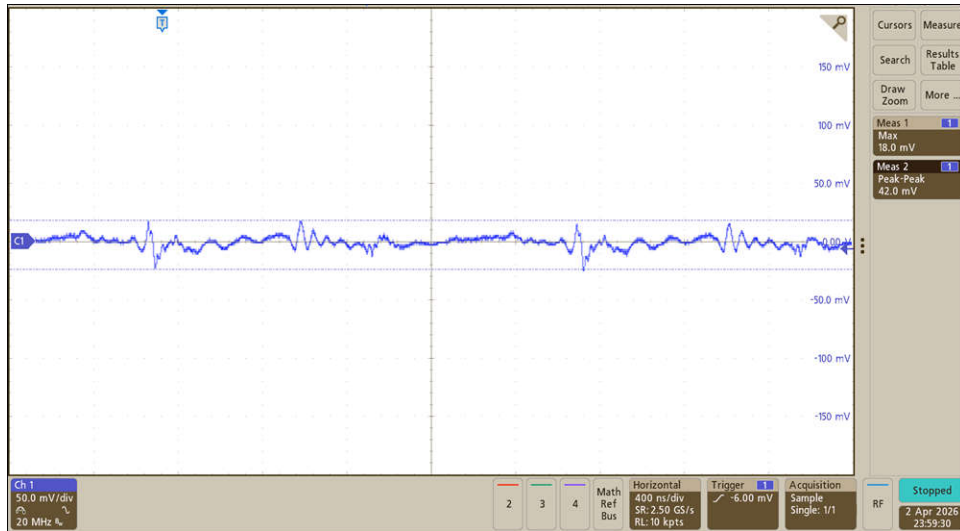


図 3-8. 出力電圧リップル、ピークツーピーク 42.0mV

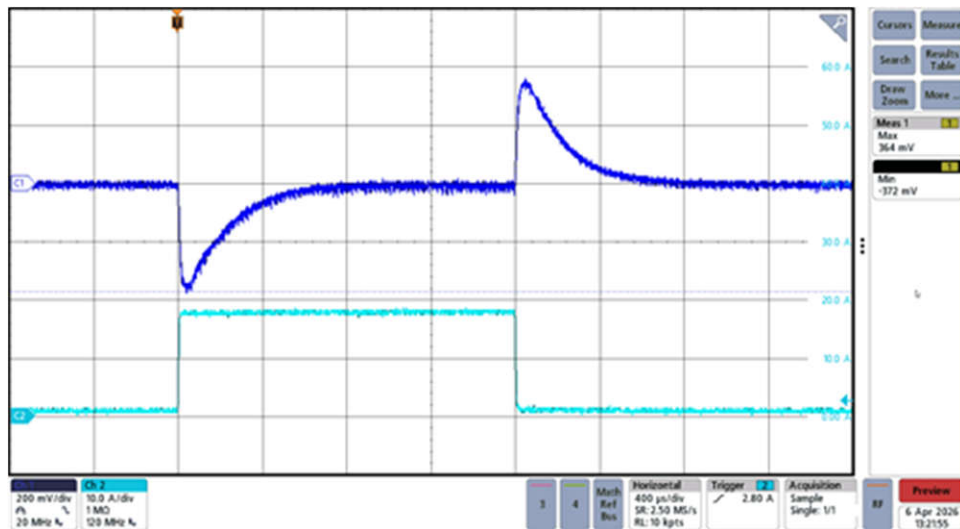


図 3-9. 1A ~ 18A のステップに対する負荷過渡応答

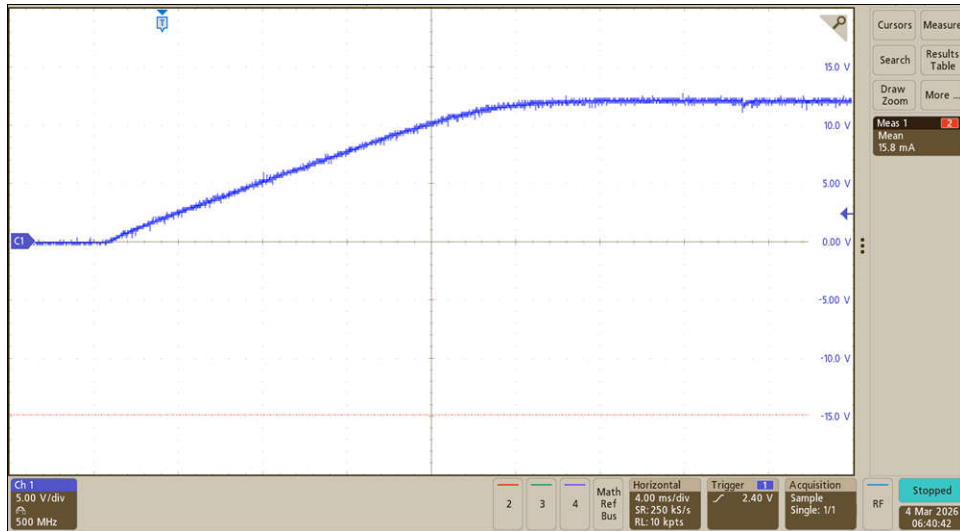


図 3-10. 起動タイミング

28V 入力

12V 出力で 18A を供給

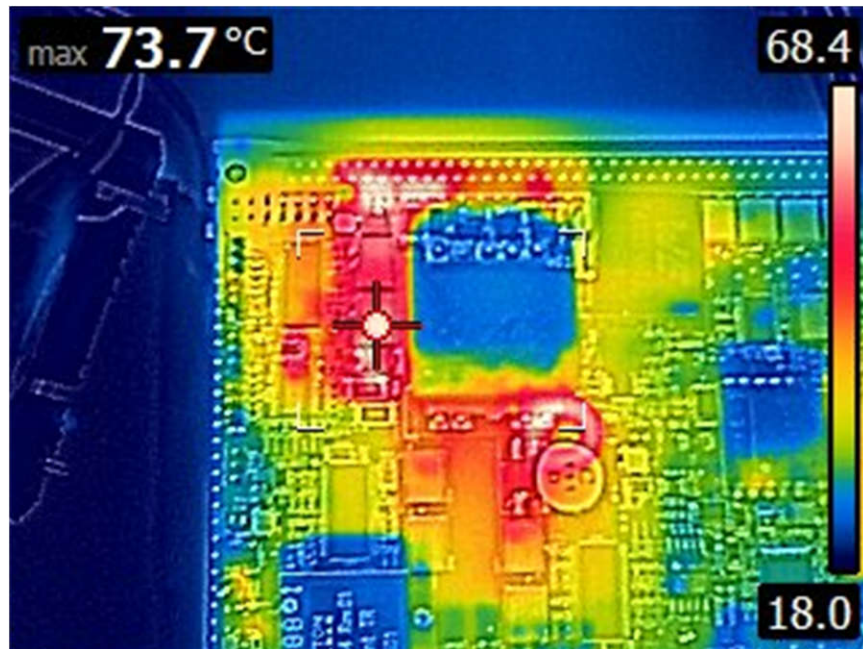
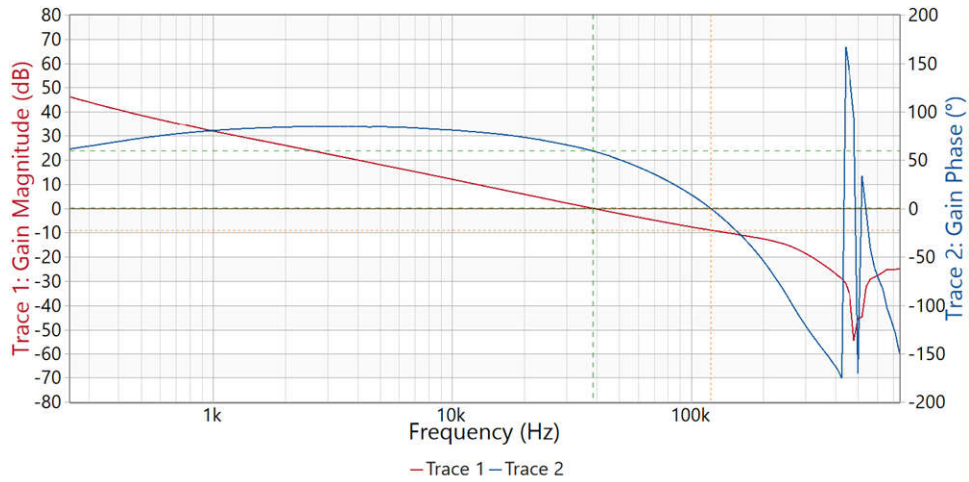


図 3-11. フルブリッジの 2 次側の上面図

3.4.2 5V 出力レールのテスト結果 (TPS7H4011-SP)

以下の結果は、12V から 5V への降圧レギュレータのものです。



28V 入力、12V 出力

帯域幅 = 100Hz

位相マージン = 59.1° (38.7kHz 時)

ゲインマージン = -9.011dB (121.5kHz 時)

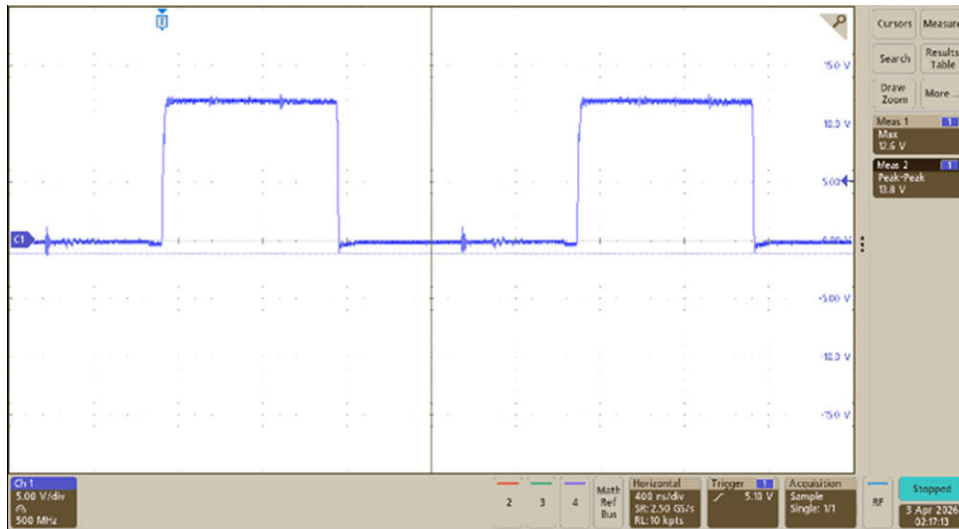


図 3-12. スイッチ ノード、12V 入力

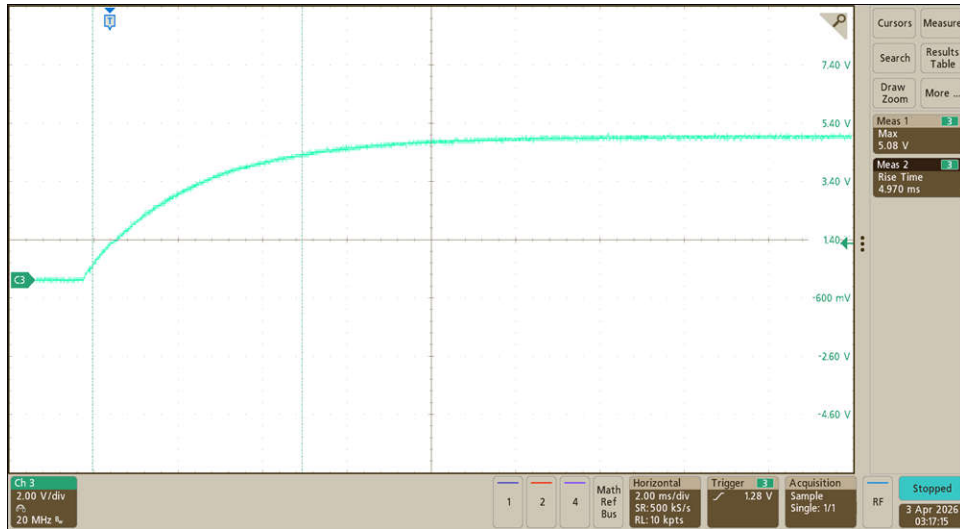


図 3-13. 起動タイミング

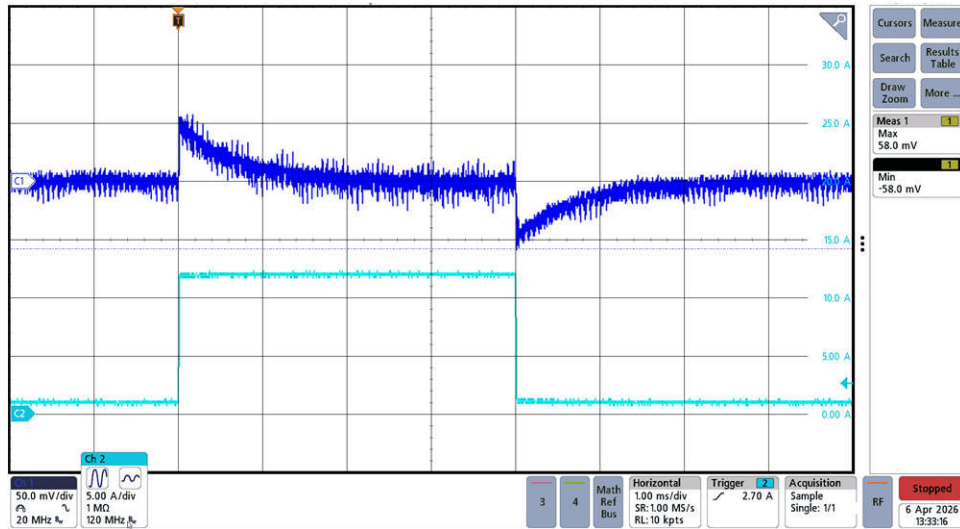


図 3-14. 1A ~ 12A のステップに対する負荷過渡応答

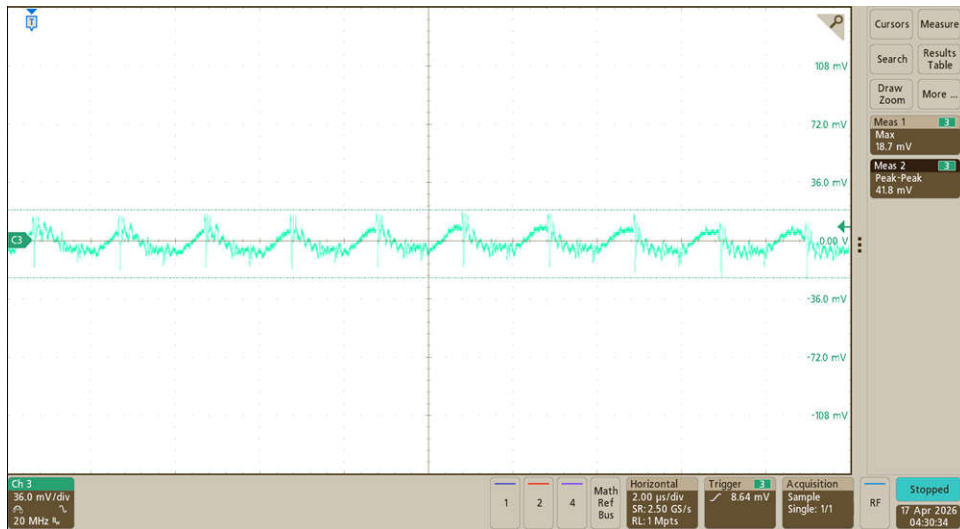


図 3-15. 出力電圧リップル



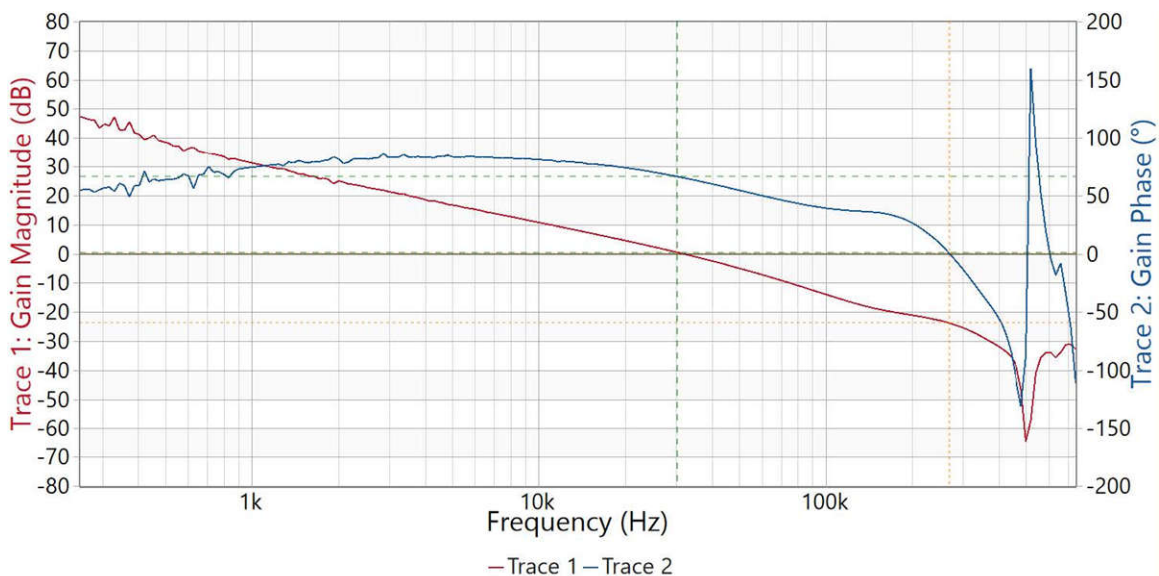
12V 入力

5V 出力で 12A を供給

図 3-16. 12V から 5V への降圧レギュレータの上面図、12V 入力、5V 出力で 12A

3.4.3 3.3V 出力レールのテスト結果 (TPS7H4013-SP)

以下の結果は、12V から 3.3V への降圧レギュレータのものです。



12V 入力、5V 出力

帯域幅 = 100Hz

位相マージン = 66.3°C (30.4kHz
時)

ゲイン マージン = -23.8dB
(269.7kHz 時)

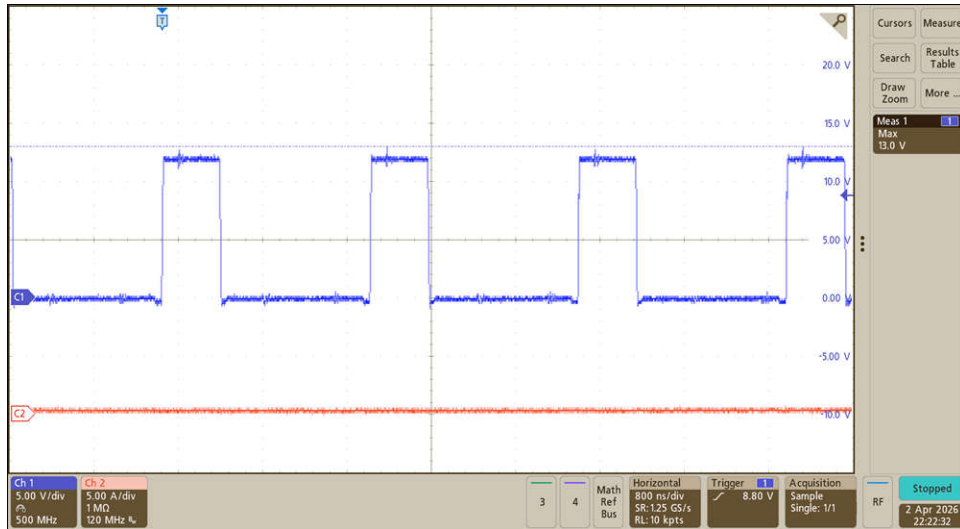


図 3-17. スイッチ ノード、12V 入力

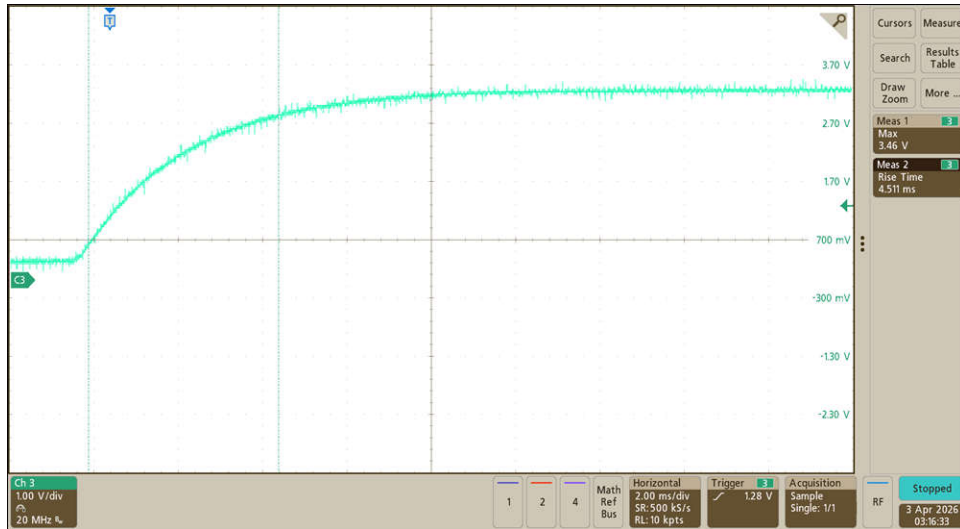


図 3-18. 起動タイミング

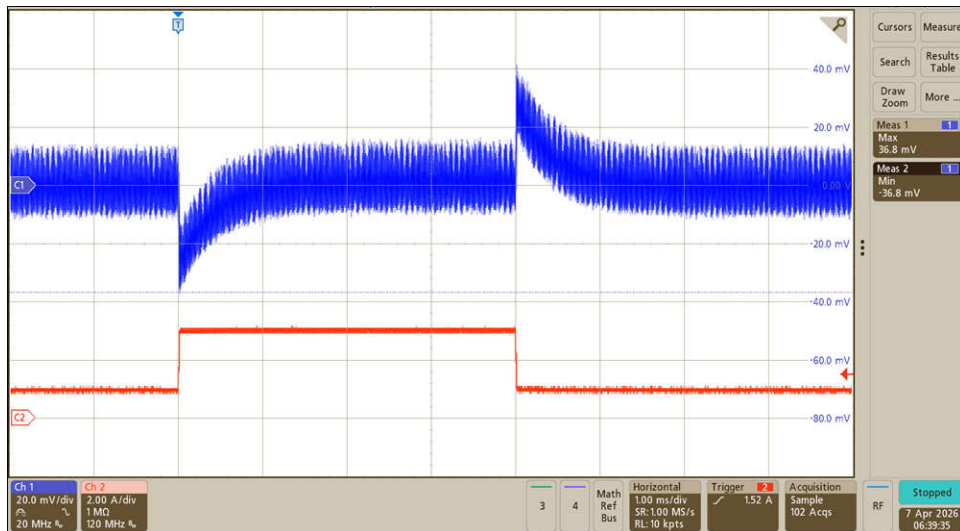


図 3-19. 1A ~ 3A のステップに対する負荷過渡応答

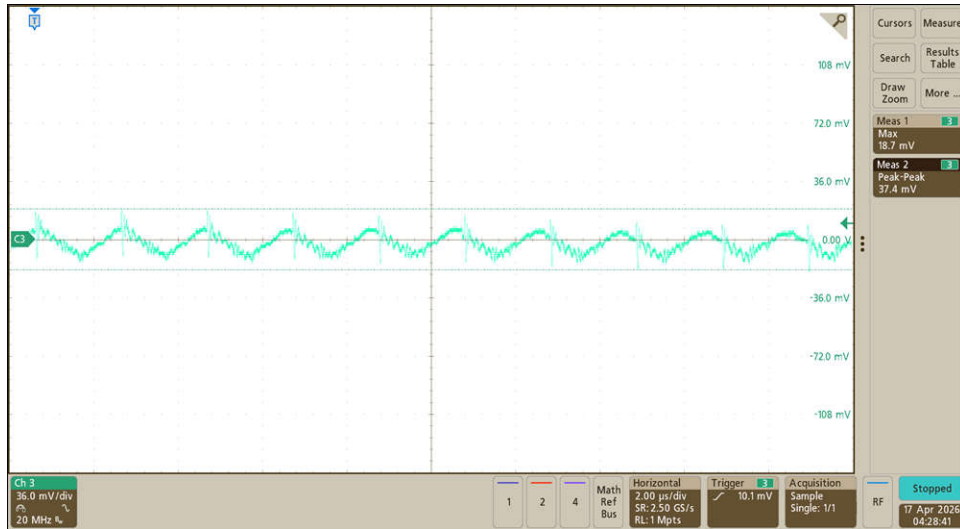
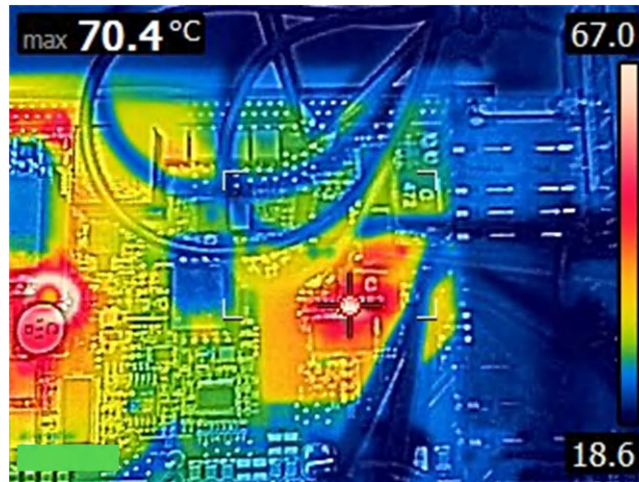


図 3-20. 出力電圧リップル



12V 入力

3.3V 出力で 3A を供給

図 3-21. 12V から 3.3V への降圧レギュレータの上面図

4 設計とドキュメントのサポート

以下の情報には、TIDA-011004 に関連するサポートドキュメントとファイルが含まれています

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-011004](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.2 4.1.2 BOM

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-011004](#) 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

4.2.1 ツール

[POWERSTAGE-DESIGNER Power Stage Designer™](#): スイッチ モード電源で最も一般的に使用されるソフトウェア ツール。

[MSP430 デバッガ](#): ファームウェア プログラミング用のデバッガ

[TPS7H4011-CALC - TPS7H4011 部品カリキュレータ](#)

4.2.2 ソフトウェア

[CCSTUDIO IDE、構成、コンパイラまたはデバッガ | TI.com](#)

4.3 ドキュメントのサポート

1. テキサス インスツルメンツ、[『TPS7H500x-SEP 宇宙用強化プラスチックに搭載された耐放射線 2MHz 電流モード PWM コントローラ』データシート](#)
2. テキサス インスツルメンツ、[『TPS7H60x5-SP および TPS7H60x5-SEP 放射線耐性保証、ハーフ ブリッジ GaN FET ゲートドライバ』データシート](#)
3. テキサス インスツルメンツ、[『TPS7H502x-SP/SEP および TPS7H503x-SP/SEP ゲートドライバを内蔵した耐放射線特性の電流モード PWM 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、[『TPS7H4011-SP および TPS7H4011-SEP 4.5V ~ 14V 入力、12A 耐放射線特性の同期整流降圧コンバータ』データシート](#)
5. [『TPS7H401x-SP および TPS7H401x-SEP 4.5V ~ 14V 入力、3A および 6A、耐放射線特性の同期整流降圧コンバータ』データシート](#)
6. [『TPS7H1121-SP および TPS7H1121-SEP、2.25V ~ 14V 入力、2A、耐放射線特性の低ドロップアウト \(LDO\) リニアレギュレータ』データシート](#)
7. テキサス インスツルメンツ、[『OPA4H199-SEP 宇宙用強化プラスチックに搭載された 40V、耐放射線特性、レールツーレール入出力、低オフセット電圧、低ノイズ オペアンプ』データシート](#)
8. テキサス インスツルメンツ、[『TMP9R01-SEP リモートおよびローカル \(オンチップ\) 温度センシングを搭載した放射線耐性の I2C デジタル温度センサ』データシート](#)
9. テキサス インスツルメンツ、[『THVD9491-SEP 放射線耐性を持ち柔軟な I/O 電源および IEC ESD 保護機能を搭載した 3V ~ 5.5V RS-485 トランシーバ』データシート](#)
10. テキサス インスツルメンツ、[『MSP430FR5969-SP 耐放射線特性のミクスト シグナル マイコン』データシート](#)
11. テキサス インスツルメンツ、[『TL1431-SP Class V、高精度プログラマブル リファレンス』データシート](#)

4.4 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。

商標

テキサス・インスツルメンツの™, MSP430™, CCStudio™, and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

SIMPLIS™ is a trademark of SIMPLIS Technologies, Inc..

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

BHAVIKA KAGATHI はテキサス インストルメンツの航空宇宙および防衛分野のシステム エンジニアで、宇宙アプリケーション向けのリファレンス デザインの開発を担当しています。同氏は、イリノイ大学アーバナ - シャンペーン校で理学士およびバイオエンジニアリングの修士の学位を取得しました。**Bhavika** は、この設計を支援してくれた **John Dorosa** に感謝します。

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](#)、[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 © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月