

Application Note

TI の宇宙用拡張製品 (SEP) と宇宙用製品 (SP) をベースとする、 高い拡張性を備えた宇宙用モーター制御プラットフォーム



Michael Seidl

概要

このアプリケーション ノートでは、航空宇宙システム設計者やパワー エレクトロニクス エンジニアを対象に、人工衛星と宇宙船のアクチュエータ システム向けの包括的な宇宙グレード モーター制御プラットフォームを紹介します。このソリューションは、TI の耐放射線特性 F28377D-SEP マイコンと TPS7H6101-SEP GaN ハーフブリッジ電力段をベースとして構築されているほか、INA901-SP、TMP9R00-SP、TPS7H5020-SEP/SP、TPS7H1121-SEP/SP などの耐放射線特性を備えた監視デバイスやパワー マネージメント デバイスを活用することにより、GEO 宇宙ミッションでの LEO の SWaP+C の課題に対処できます。このプラットフォームは、台形波制御またはフィールド指向制御 (FOC) を使用して、単一の 2 相および 3 相ステップ、またはデュアル モーター制御構成をサポートし、ピン互換の部品によってさまざまな放射線耐性レベルに対応します。MATLAB®/Simulink® を利用したモデルベース設計でソフトウェア開発期間を短縮することができ、GaN テクノロジーと高集積デバイスによって基板面積と熱管理負荷を最小限に抑制できます。単一の拡張可能な研究開発投資を活用し、エンジニアは高い信頼性と小型化が必要な大量展開アプリケーションと深宇宙アプリケーションの両方に対応できます。

目次

1 概要.....	2
2 詳細説明.....	3
2.1 設計コンセプト.....	3
3 ハードウェア設計の詳細.....	5
3.1 電力段.....	5
3.2 電流センス.....	7
3.3 温度監視.....	8
3.4 電力段あたりの推定面積.....	8
3.5 F28379D LaunchPad の接続.....	9
3.6 ソフトウェア設計.....	10
4 結果.....	12
4.1 熱性能.....	13
5 まとめ.....	16
6 参考資料.....	16

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 概要

次世代の宇宙ミッションでは、サイズ、重量、消費電力、コスト (SWaP+C) を最小化すると同時に、非常に優れた信頼性を実現する、高性能でコンパクトなモーター制御システムが必要です。本アプリケーション ノートでは、モデルベース設計ソフトウェアを実行する耐放射線性の高性能マイコンによって制御され、画期的な GaN ベースの電力段デバイスを搭載した、宇宙グレードの包括的なモータードライブ プラットフォームを紹介します。

主な特長:

- 設計ファミリで最初のデバイスである **TPS7H6101-SEP** は、最大 200V 定格、耐放射線特性を備え、自己保護機能を搭載した GaN ハーフブリッジ電力段で優れた電力密度と効率を実現
- 耐放射線特性を備えた **F28377D-SEP** リアルタイム マイコン:
 - 4 個の 16 ビット ADC や、12 ビット DAC を内蔵した 8 個のウィンドウ コンパレータなど、優れたアナログ統合性を備え、最大 800MIPS の処理能力を提供。
 - 包括的な自己診断機能および監視機能
 - MATLAB® と Simulink® を使用し、モデルベースのシステム エンジニアリング (MBSE) に対応
- 耐放射線特性を備えた **INA901-SP** 電流センス アンプは、-15V ~ 65V の同相電圧に対応
- 耐放射線特性を備えた **TMP9R00-SP** は、最大 8 つのリモート温度監視機能および 1 つのローカル温度監視機能を高精度で実現。
- PMP23546** 2.4W PSR フライバック バイアス電源は、耐放射線性の **TPS7H5020-SEP** または耐放射線強化型の **TPS7H5020-SP** をベースとし、22V ~ 36V の入力範囲に対応して、1% 未満のリプルで 2 つの 12V 出力レールを生成。耐放射線強化型の高精度プログラマブル リファレンス **TL1431-SP** は、起動用電源に必要とされる最大 36V の入力レギュレータを提供。
- 耐放射線特性を備えた **TPS7H1121-SEP** または耐放射線強化型の **TPS7H1121-SP** 低ドロップアウトリニアレギュレータ (LDO) デバイスは、3.3V と 5V のレールを提供。
- 耐放射線強化型の **TPS7A4501-SP** 低ドロップアウトリニアレギュレータ (LDO) は、**TMP9R00-SP** に 2V レールを供給。
- 耐放射線特性を備えた **SN54SLC8T245-SEP** 8 ビット、0.65V ~ 3.3V 方向制御型レベルトランスレータは、PWM のシグナル インテグリティを確保し、追加レベルの保護機能を提供。

上記のすべては、高い拡張性を備えたリファレンス設計プラットフォームに実装されており、台形波制御またはフィールド指向制御 (FOC) に対応した単一の 2 相および 3 相ステップ、またはデュアル モーター制御構成をサポートします。ピン互換の実装オプションにより、LEO から GEO までのミッション要件に対応でき、単一の研究開発投資で、大規模な LEO 展開や深宇宙ミッション固有の課題に対応します。

本アプリケーション ノートでは、このソリューションが提供する以下の価値について説明します。

迅速で簡単な設計と高い信頼性:

- MATLAB Simulink のモデルベースのコーディングにより、非常に高いソフトウェア整合性レベルで、カスタム モータードライブ アプリケーションを非常に迅速に適応させることができます。
- 推奨部品は、非常に高い水準の保護機能と監視機能を提供し、ハードウェア設計のオーバーヘッドを最小限に抑えます。

小型フォーム ファクタ:

- GaN FET テクノロジーの採用、高い集積レベル、宇宙グレードのプラスチック パッケージの採用により、非常に小さい基板面積、高効率、優れた放熱特性を実現できます。

スケール メリット:

- 耐放射線性、モーターの数と種類、モーター制御オプション、電圧レベルと電力レベルに関する高い拡張性。

2 詳細説明

2.1 設計コンセプト

ここで説明した宇宙グレード モーター制御プラットフォームは、C2000 マイコン ファミリの包括的な設計開発エコシステムを活用しています。このハードウェアは、C2000 マイコン Launchpad 評価基板 [LAUNCHXL-F28379D](#) をベースにしており、さまざまなアプリケーション固有ブースタパックに接続できます。その 1 つの [BOOSTXL-3PHGANINV](#) は、シャントベースのインライン モーター相電流検出機能を搭載した 48V 3 相インバータの評価基板 (図 2-1) です。

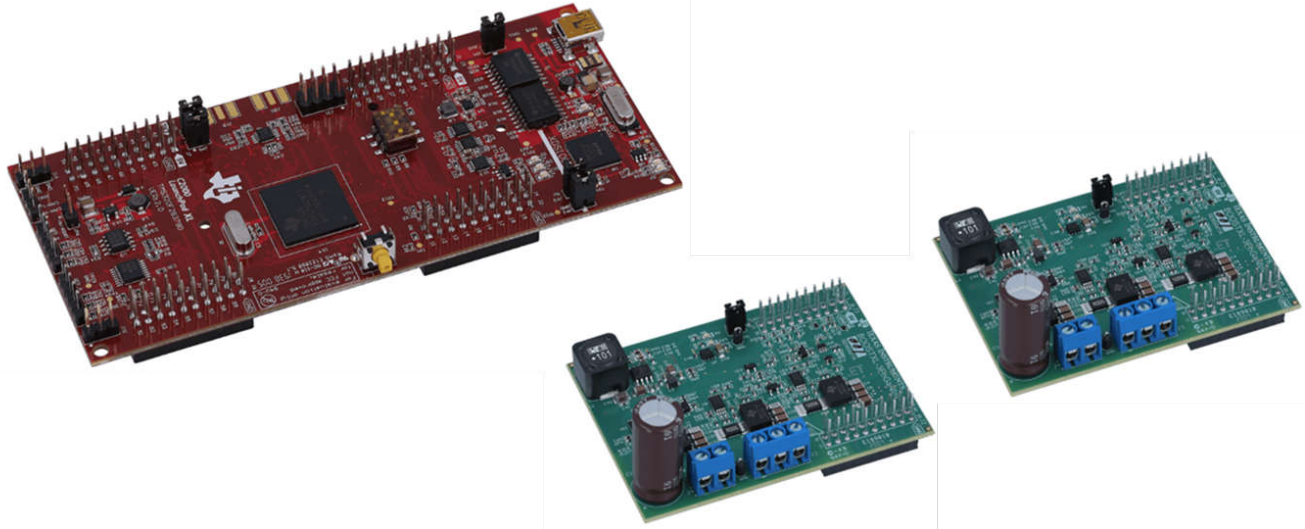


図 2-1. 市販の評価キット LAUNCHXL-F28379D 1 個と BOOSTXL-3PHGANINV 2 個をベースとした宇宙グレード設計の基礎構成

このローンチパッドは、ソフトウェアと相互のピン互換性を備えていることから、宇宙グレード製品の [F28377D-SEP](#) を含む TMS320F2837x ファミリのすべてのデバイスに優れた評価プラットフォームを提供します。ただし、[BOOSTXL-3PHGANINV](#) ブースタパックは商用グレードの実装であるため、上記の宇宙グレード デバイスを搭載するには再設計が必要となります。とはいえ、[LAUNCHXL-F28379D](#) と [BOOSTXL-3PHGANINV](#) の組み合わせに対応した既存のモーター制御ソフトウェアは、宇宙グレード用途にもそのまま問題なく流用できます。

そのため、宇宙グレードの電力段設計は、[BOOSTXL-3PHGANINV](#) との互換性を最大限維持する形で構成されています。宇宙グレードの電力段 PCB では、デュアル 3 相モーター制御または単一の 2 相 / 3 相ステップ実装を可能にするため、電力段を 6 個に増やす設計としました (図 2-2)。

3 ハードウェア設計の詳細

3.1 電力段

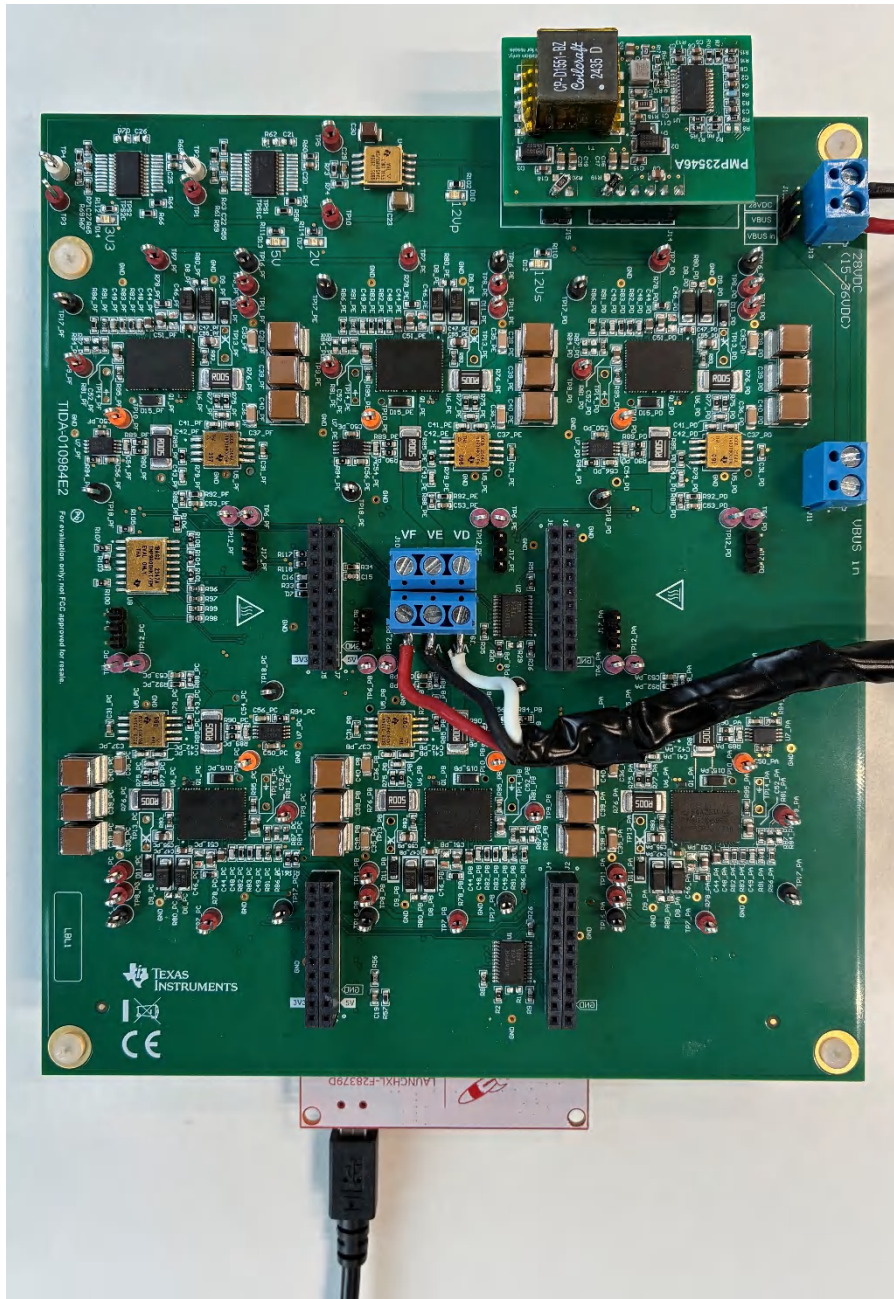


図 3-1. 2.4W PSR フライバック バイアス電源 (右上) と LAUNCHXL-F28379D (下) を使用した TIDA-010984 設計

6 つのハーフブリッジ電力段は、TPS7H6101-SEP をベースにしています。これは、耐放射線性を備えた 200V GaN パワー FET ハーフブリッジで、ゼロから設計された耐放射線特性を備えたゲートドライバを内蔵しています。このゲートドライブ技術は、以下のディスクリート ハーフブリッジドライブファミリとしても提供されています。TPS7H6003-SP、TPS7H6013-SP、TPS7H6023-SP、TPS7H6005-SP、TPS7H6015-SP、TPS7H6025-SP、TPS7H6005-SEP、TPS7H6015-SEP、TPS7H6025-SEP。これにより、ソース電流およびシンク電流能力を備えた分割出力、ハイサイドからローサイドおよびローサイドからハイサイドの専用デッドバンド設定、ハイサイド、ローサイドのスイッチングの低遅延マッチングが提供され、最適なターンオンおよびターンオフスイッチング動作を実現します。また、非常に優れた SEE 性能

(SET、SEFI、SEL) が実証されており、 $75\text{MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$ までの条件でクロスコンダクション事象が発生しないことが確認されています。TPS7H6101-SEP は、パワー GaN FET を内蔵した統合型ハーフブリッジ電力段として、これらの機能すべてを搭載しているため、高度に最適化された宇宙グレードのモータードライブ電力段の設計を簡単に開始できます。FET を内蔵することにより、ドライバと FET の間のパターンを自然に最小限に抑えることができ、寄生インピーダンスを最小限に抑えて理想的なスイッチング特性を実現できます。スルーレートとデッドタイムの最適値は、ベンダー側で十分に調整済みです。このアプリケーションノートで説明するモーター制御電力段の設計では、シングル PWM 制御モードの利点をさらに活用しています。電力段には単一の PWM 信号のみが供給されます。この補完信号は電力段デバイス内部で生成され、デッドタイムは調整可能です。また、PWM 信号生成に問題が発生してもシュートスルー事象が発生しないことが保証されています。実装されているデッドタイムは、TPS7H6101-SEP のデータシートに記載されている TI の推奨事項に準拠しています。

電力段デバイス外部の追加保護部品は、FET のソースピンとドレインピンの間に接続されたショットキーダイオードのみです。IGBT やシリコン MOSFET とは異なり、GaN FET には逆方向ダイオードはありません。突然の電源喪失や、モーターにまだエネルギーが残っている状態で電源スイッチの両方の FET が予期せずオフになった場合、このダイオードの働きにより、過度なピーク電圧を発生させることなく電流を制御された経路に流すことができます。

なお、本アプリケーションノート向けに作成した設計では、テストやデバッグの参考として、ショットキーダイオードはローサイドのみに追加されています。実際の製品実装では、このようなショットキーダイオードをすべての FET に追加することを推奨します。

TPS7H6101-SEP には、VIN からの直接充電と、内部ブートストラップスイッチを介した充電という、2つのブートストラップ充電オプションがあります。このアプリケーションノートで使用する PCB は、両方のオプションに対応します。実際のテスト結果は、図 3-2 および 図 3-3 に示すように、直接充電のオプションで測定したものです。直接充電のみを検証するために、R78 と D8 を実装し、R80 と C46 は未実装としています。

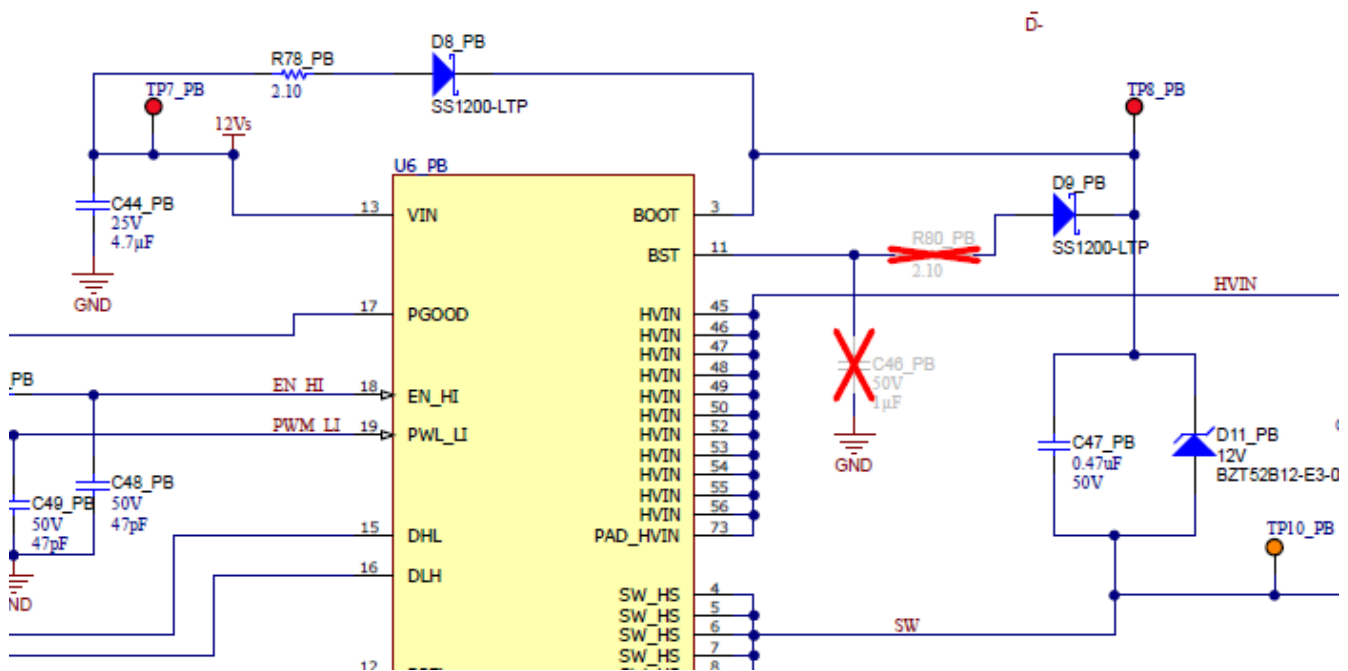


図 3-2. VIN ブートストラップからの直接充電機能のみを実装した構成

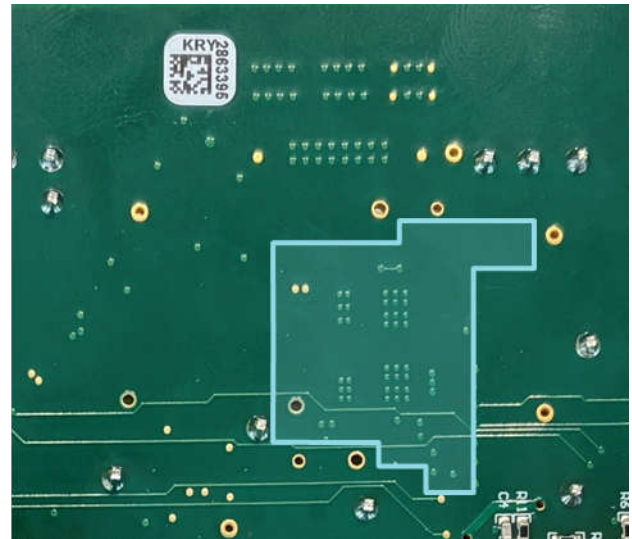
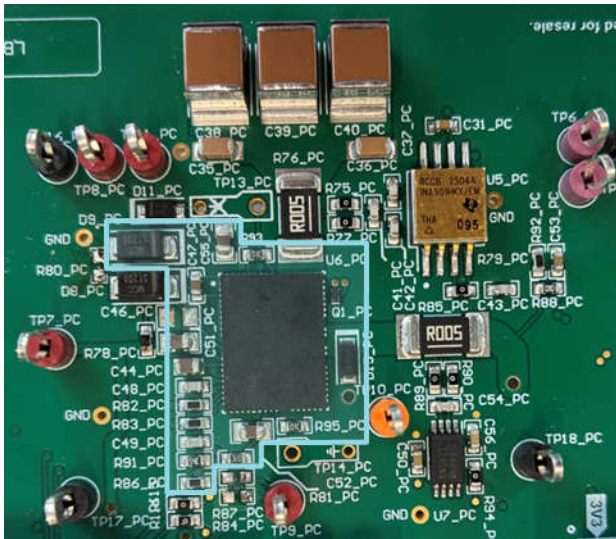


図 3-3. 左の写真: TPS7H6101-SEP の上面レイアウト。必要な外付け部品はごく少数です。裏面には部品がありません (右の写真)。

3.2 電流センス

商用グレードの INA240A1 を用いた相電流検出回路は、BOOSTXL-3PHGANINV から引き継がれており、ソフトウェア変更を最小限に抑えつつ基板立ち上げを容易にするため、宇宙グレードの電力段を親設計に可能な限り近い構成としています。

INA901-SP をベースとするハイサイド電流検出オプションは、ステップドライブで一般的に使用され、3 相モーター用途でも地絡検出機能の利点が見られる場合があるため追加されています (図 3-4)。LEO コンステレーションのように放射線耐性要求が比較的低い用途では、INA951-SEP が推奨されます。

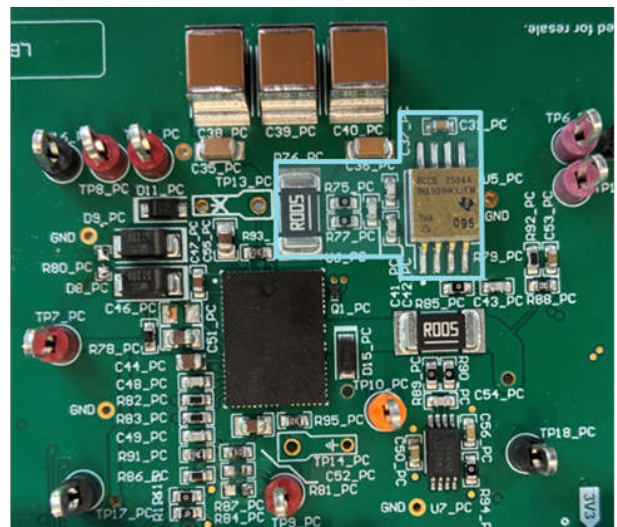
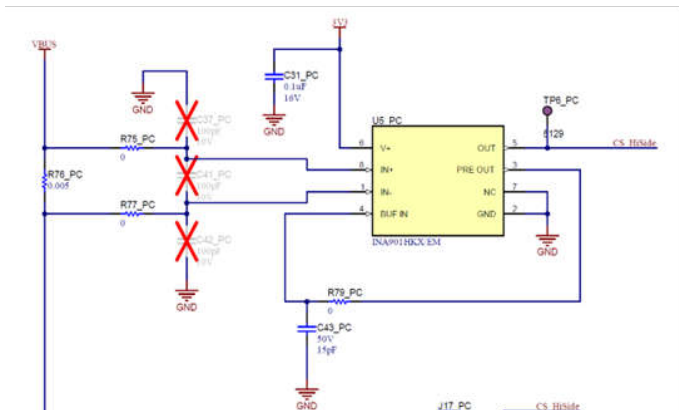


図 3-4. INA901-SP をベースとするハイサイド電流検出オプション

TI が提供している他の宇宙グレード相電流検出ソリューションとしては、定電流源を追加した INA951-SEP または INA901-SP (INA901-SP の双方向トポロジ)、最大 40V のコモンモード入力電圧に対応する OPA4H199-SEP/-SP、INA1H94-SEP/-SP と OPA4H199-SEP/-SP または OPA4H014-SEP の組み合わせ (-150V ~ +150V のコモンモード入力対応) をベースとしたものがあります。

3.3 温度監視

TMP9R00-SP を使うと、1 つの部品で 6 つの電力段すべての温度を監視できます。各電力段デバイスのすぐ近くに配置されている実際の温度センサは、ダイオード接続された小型でコスト効率の良い BJT トランジスタで構成されています (図 3-5 を参照)。TMP9R00-SP には、励起電流生成機能、複数のシグナル コンディショニング機能、電圧リファレンス、A/D 変換機能がすべて搭載されています。すべてのリモート センサとデバイス内のローカル センサからの温度値は、I2C バス経由でマイコンに転送されます。2 つのプログラム可能なアラーム信号 THERM および THERM2 もマイコンの GPIO に接続し、外部割り込みを生成します。



図 3-5. TPS7H6101-SEP 電力段デバイスの近くに配置したダイオード構成の BJT を使用した、小型でコスト効率に優れた温度モニタの実装

3.4 電力段あたりの推定面積

- TPS7H6101-SEP のパッケージのみで $12\text{mm} \times 9\text{mm} = 110\text{mm}^2$ です。外付け受動部品 (保護ショットキー ダイオード、ツェナー ブートストラップ ダイオード、構成抵抗、コンデンサ、温度センシングトランジスタ等) の合計で 120mm^2 です。各電力段ブロックの合計で 230mm^2 です。
- ハイスайдで電流検出する場合は、INA901-SP 自体の面積が 85mm^2 あり、シャント抵抗と受動部品はほぼ同じ面積です: 170mm^2
- 十分な量の バルク キャパシタにより、 200mm^2 の面積が追加されます。
- 単一の TMP9R00-SP デバイスはデュアル 3 相モーター構成の 6 つすべての電力段に対応できます。このデバイスの追加面積は 70mm^2 です。その周辺の受動部品でさらに約 100mm^2 、必要な 2V 電源電圧を供給する LDO でさらに 140mm^2 が追加されます (図 3-6 中央を参照)。電力段あたりの合計で約 50mm^2 です。

まとめると、すべての部品を PCB の片面のみに実装し、比較的大量のバルク キャパシタを使用するレイアウトでは、電力段 1 つあたり約 550mm^2 になります。12V、5V、3.3V の同相電圧レール (図 3-6) の場合、このデザインでは次の基板面積要件が示されています。

- 非安定化 28V バスから 12V へ変換する DC/DC 変換用モジュール PMP23546 は、 1640mm^2 の面積を占有します。
- 5V および 3.3V 電源用の 2 つの TPS7H1121-SEP/SP LDO は、それぞれ 130mm^2 の面積を占有します。

6 つの電力段を使用する設計に必要な合計面積は、最大 5810mm^2 です。たとえば、このような設計は $85\text{mm} \times 70\text{mm}$ の PCB に実装可能です

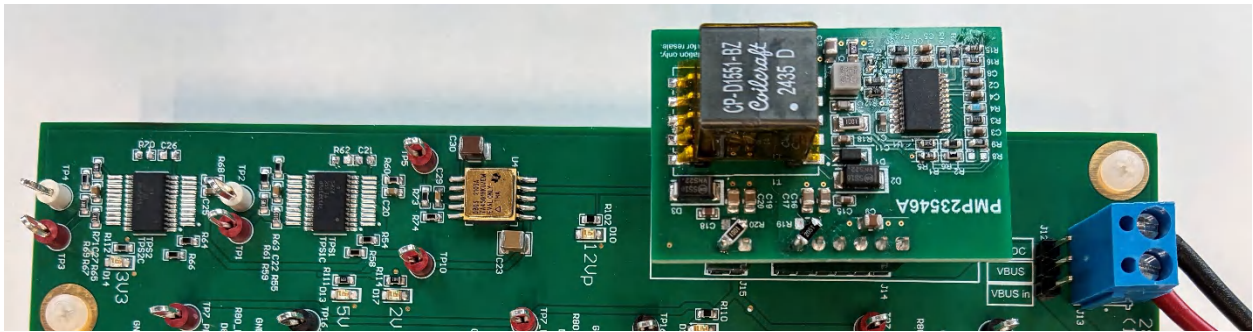


図 3-6. 電源ツリー設計 (左から右): PMP23546 (15V ~ 36V 入力、12V 出力)、TPS7A4501-SP (12V 入力、2V 出力)、2 つの TPS7H1121-SEP/SP (12V 入力、5V および 3.3V 出力)

3.5 F28379D LaunchPad の接続

F28379D Launchpad は電力段 PCB の裏面に接続されており (図 3-7)、対応するジャンパ ヘッダー (図 3-8) を取り付けられた状態で、USB デバッグ インターフェイスを介して PC に電力を供給します。

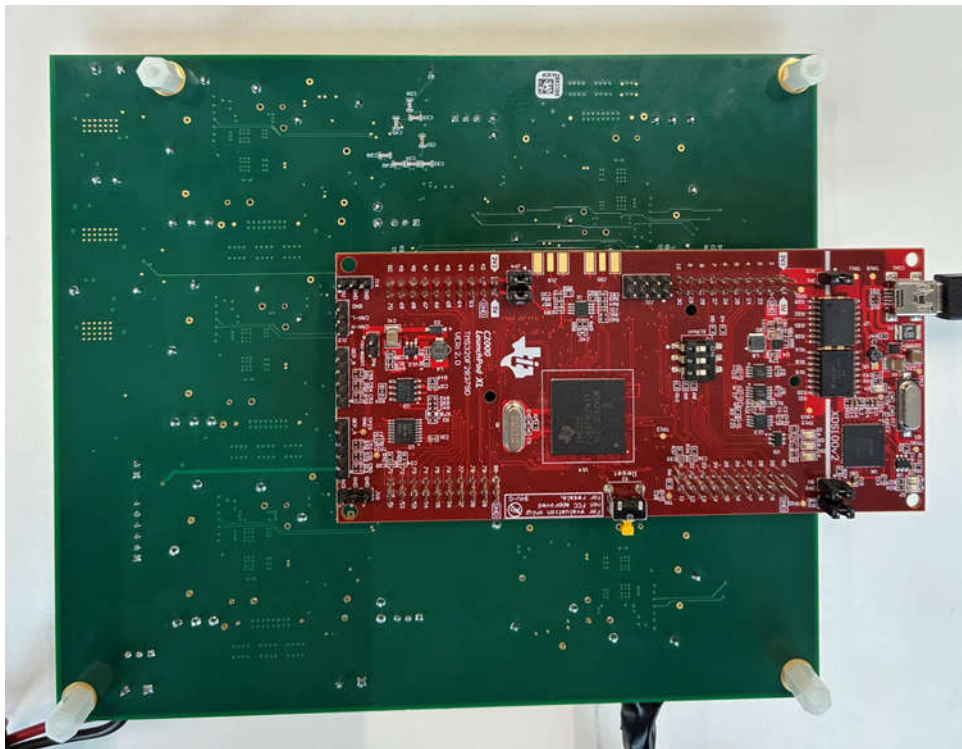


図 3-7. 電力段 PCB 裏面に接続された F28379D LaunchPad

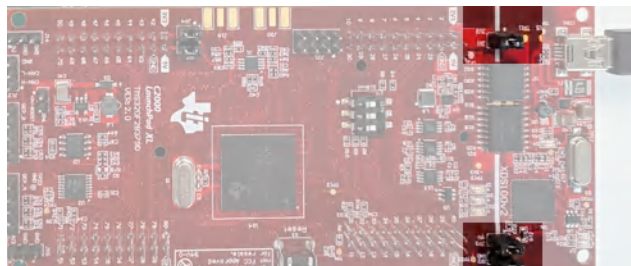


図 3-8. ジャンパ J1、J2、J3 の適用により、電力段の設計とは独立して、USB ポートからマイコン ボードに電力が供給される

3.6 ソフトウェア設計

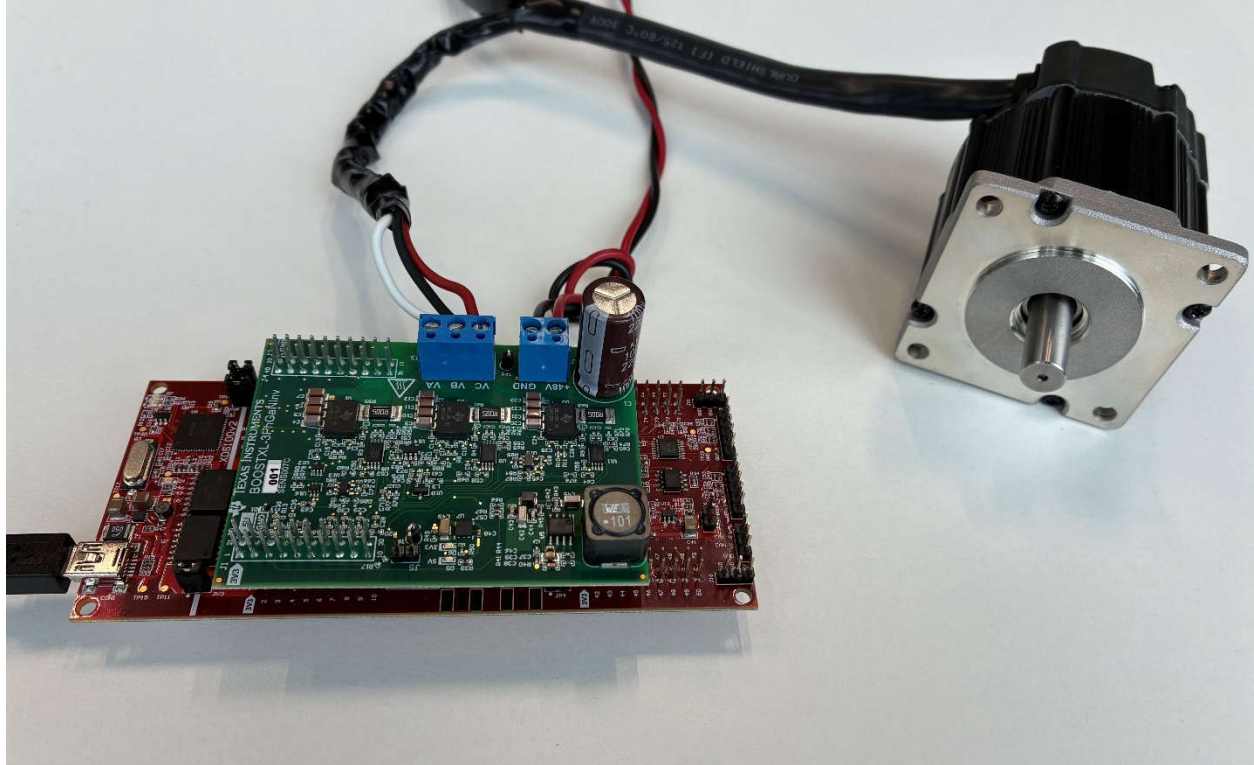


図 3-9. MathWorks の Simulink モデルベースのセンサレス FOC 実装でサポートされている LAUNCHXL-F28379D、BOOSTXL-3PHGANINV、LVSERVOMTR

このデザインは、[LAUNCHXL-F28379D](#)、[BOOSTXL-3PHGANINV](#)、[LVSERVOMTR](#) (図 3-9) からなる市販のハードウェア構成をベースとしており、MathWorks の Web ページで提供されている、Simulink によるモデルベースのセンサレス FOC 実装によって完全にサポートされています。[C2000](#) プロセッサを使用した [PMSM](#) のセンサレスフィールド指向制御 (MATLAB および Simulink)。この宇宙グレード向け設計では、既存の実績ある構成を可能な限り活用することを目指しました。ただし、最高の堅牢性を得るため、TPS7H6101-SEP 電力段をシングル PWM モードに設定しています。したがって、モデルに 2 つの軽微な修正が必要です。TPS7H6101-SEP は、「ローサイド」入力 PWM ピンに単一の PWM 信号を想定します。ハイサイド PWM 入力ピンは、両方の FET ドライバの汎用イネーブルピンになります。このため、宇宙グレード設計では、BOOSTXL-3PHGANINV の元の構成で各ハーフブリッジ電力段に使用していた 2 つの独立した PWM 信号のうち、ハイサイド PWM 信号をローサイドに接続する必要があります。各電力段デバイスのイネーブル信号については、すでに実装済みの汎用インバータ イネーブル ロジック (図 3-10) とともに 3 つの追加 GPIO がアクティブになります。

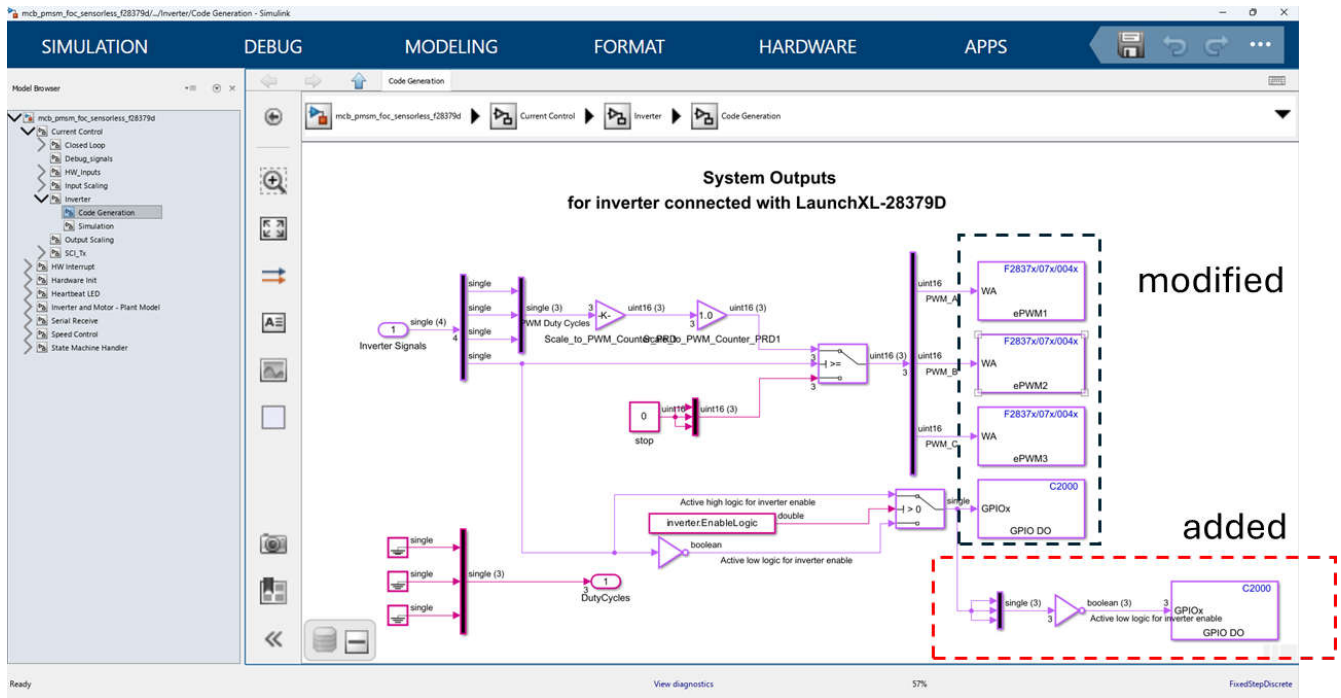


図 3-10. Simulink モデルへのわずかな変更でシングル PWM モードを有効化

これらのいくつかの変更が適用されると、モデルをコンパイルおよびビルドし、マイコンにロードできます。この更新したコードをマイコンで実行すれば、PC で動作するホスト モデルはそのまま使用でき、GUI 経由でモーターを制御できます。

4 結果

上記の変更により、システム全体の実装が、開ループおよび閉ループのセンサレス FOC で期待どおりスムーズに動作することが確認されました。

この実装は、300rpm 未満の速度領域で開ループで動作します。電力段の信号波形、電流検出精度、およびデッドタイム設定を確認するため、DC リンク電圧を 28V、速度を 100rpm (開ループ) に設定しました。

図 4-1 に、ハイサイド スイッチをオフにしてローサイド スイッチをオンにした場合の代表的な波形を示します。相電流は、INA240A1 電流センサの出力電圧に対応します。設計上のレイアウト最適化により IN+ と IN- を入れ替えているため、電流センサの出力は実際のモーター相への電流とは逆極性になります。オシロスコープに入力する電流測定信号は反転され、相電流がゼロのときに中央の水平ラインに表示されるようオフセットが調整されています。図 4-1 に、モーターに流入するわずかな正の電流を示します。デッドタイム中は、小さい巻線電流によってスイッチ ノードが放電されるため、スイッチ ノード電圧がゆっくりとグランドまで低下します。ローサイド ゲートがオンになり、スイッチ ノードをグランドへ能動的に引き下げる時点では、スイッチ ノードの電圧がすでにほぼ 0V まで低下しているため、これはソフト スイッチング イベントと称することができます。デッドタイムは、データシートの推奨に従って $RHL = 57.6k\Omega$ に外付け抵抗を接続して構成しています。観測された 41ns は、データシートに規定されている 36ns ~ 53ns (標準値 44ns) の範囲に収まっています。

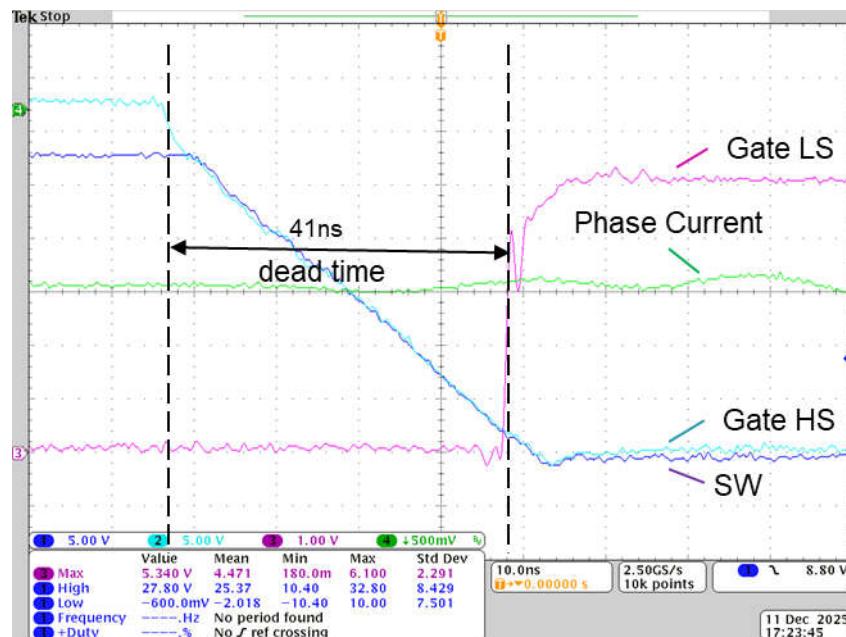


図 4-1. デッドタイムの検証 (High から Low への遷移)

図 4-2 は、Low から High へのスイッチングという反対のケースを示しています。デッドタイムは、データシートの推奨に従って $RLH = 35.7k\Omega$ に外付け抵抗を接続して構成しています。観測された 36ns は、データシートに規定されている 20ns ~ 37ns (標準値 30ns) の範囲に収まっています。

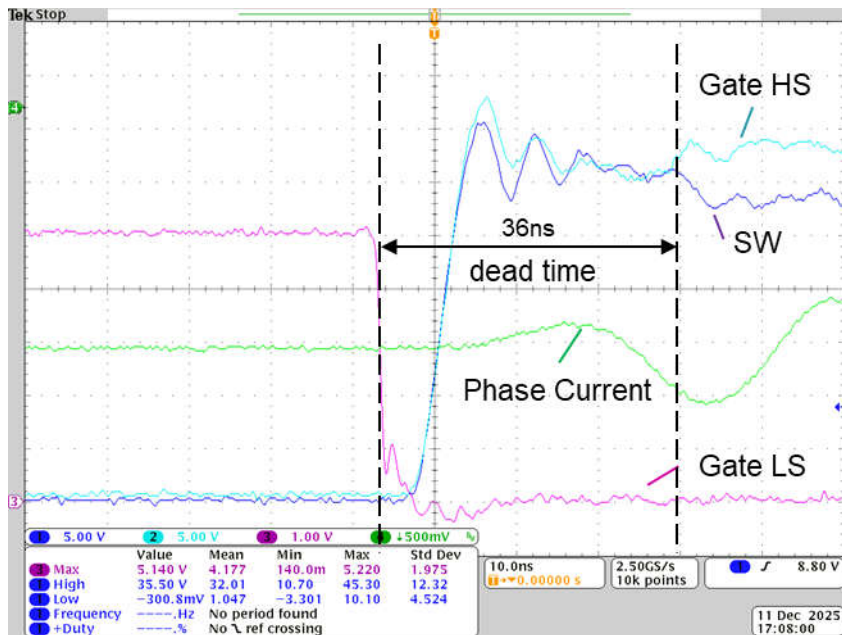


図 4-2. デッドタイムの検証 (Low から High への遷移)

4.1 熱性能

モーター制御を開ループで動作させると、モーターに負荷がない場合でも、モーターに大電流を注入できます。

Teknic M-2310P-LN-04K モーターを開ループ、28V の DC リンク電圧、100rpm で動作させると、4Arms の相電流が発生します。これは、電流クランプを使用するか、INA240A1 電流センサの出力を読み取ることで測定できます。

図 4-3 は、室温 24°C、強制換気なしの条件下において、4Arms の相電流を連続で流しても (15 分超)、電力段の温度上昇がごくわずかであることを示しています。

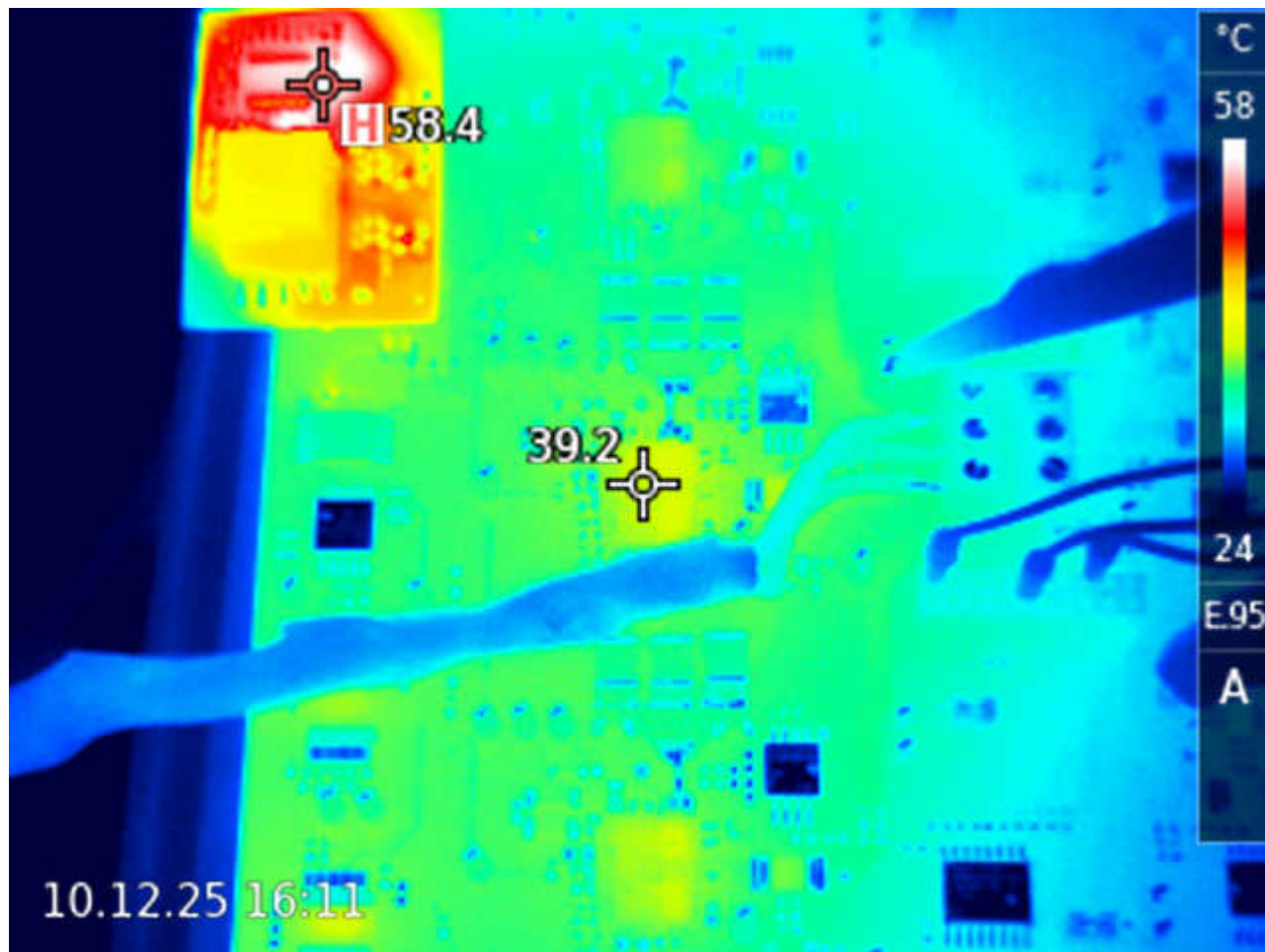


図 4-3. 4Arms の相電流を連続で流したとき (15 分超) の電力段設計の熱分布図

ストレステストでは、巻線抵抗が低く、より強力なモーターである、Moons AC サーボ モーター SM0803DE2-KCF-NNV を選択しました。DC リンク電圧を 50rpm (開ループ) で 33.1V に上昇させることで、11Arms の相電流を確保しました。図 4-4 に、15 分後の 11Arms を連続で流した時の熱分布を示します。温度は予想どおり上昇しますが、室温 24°C かつ強制換気がない条件下では 120°C 以下で安定します。

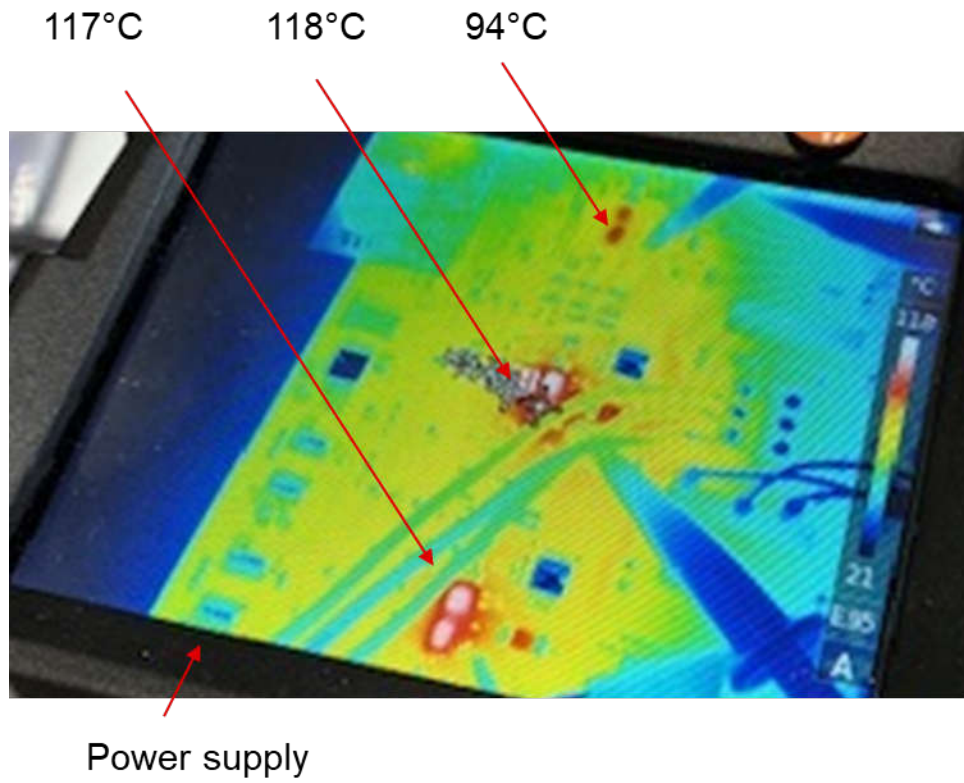


図 4-4. 11Arms の相電流を連続で流したとき (15 分超) の電力段設計の熱分布図

5 まとめ

提示されているリファレンス デザインでは、3 つの独立した GaN 電力段と、TMS320F28377D-SEP 上で動作する MATLAB/Simulink の統合機能を使用して、システム機能を検証しています。このデザインは、非安定化 28V レールに対応した包括的なパワー マネージメントソリューションを搭載しています。このソリューションは、PMP23546 フライバック設計と、TPS7Hxxxx-SEP シリーズの部品によるポイント オブ ロード レギュレーションを採用しており、すべてのシステムコンポーネントに信頼性の高い電力を供給します。

このシステムは、宇宙グレードの部品と、TMP9R00-SP をベースとした温度監視などの各種監視機能と保護機能を搭載しています。ピン互換のデバイス オプションが多く、状況で利用できるため、コスト重視の LEO コンステレーションの実装から、最高の放射線耐性および信頼性が求められる MEO、GEO、または深宇宙ミッションまで、設計を簡単に拡張できます。

このハードウェア構成により、デュアル 3 相モーター、単一の 2 相ステップ、または単一の 3 相ステップをサポートできます。

MATLAB Simulink のサポートにより、ソフトウェアを非常に迅速に実装できると同時に、衛星用モーター ドライバやアクチュエータなどの高信頼性システムで求められる高い完全性レベルを実現できます。

GaN ベースの統合型電力段により、基板面積を非常に小さくできます。低い RDSON 特性により、最大 11Arms の連続相電流でも発熱は十分に許容範囲内に抑えられました。より小さい電流要件の場合には、放熱が主な懸念事項にならないため、PCB の両面にデバイスを実装することで電力段のサイズの縮小が可能になり、場合によってはバルク容量を削減できます。

この結果から、これらの GaN 電力段デバイスをベースにすることで、衛星内のほとんど、あるいはすべてのモーター制御アプリケーションを実現できることが確認されました。

6 参考資料

1. テキサス インストルメンツ、『TIDA-010936、48V、16A 小型フォーム ファクタ、3 相 GaN インバータの統合型モーター ドライブ向けリファレンス デザイン』、デザイン ガイド。

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