

Design Guide: TIDA-010251

18V、600W BLDC モーター・インバータのリファレンス デザイン



概要

この設計ガイドでは、電圧が最大 21V の 5 セルのリチウムイオン バッテリから動作するコードレス機器の 3 相ブラシレス DC モーターを駆動する 600W の電力段について説明しています。この設計は 60mm x 60mm のコンパクトなドライブで、20kHz のスイッチング周波数で 33A_{RMS} の連続電流を供給します。この設計では自然対流のみで、ヒートシンクは使用しません。センサ ベースの台形制御を使用します。この設計では、VDS 監視、スルーレート制御と過熱保護により最適化されたスイッチング電圧スパイクを用いた MOSFET 過電流保護および貫通電流保護などの強化保護機能を使用した安全動作エリア内における MOSFET 動作を紹介します。

リソース

TIDA-010251	デザイン・フォルダ
MSPM0G1507	プロダクト・フォルダ
DRV8328	プロダクト・フォルダ
CSD18510Q5B	プロダクト・フォルダ
TMP61	プロダクト・フォルダ

特長

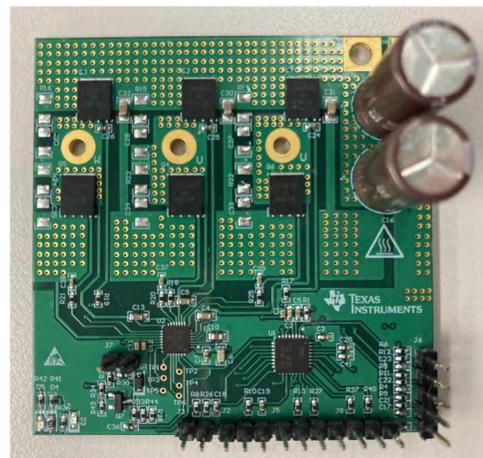
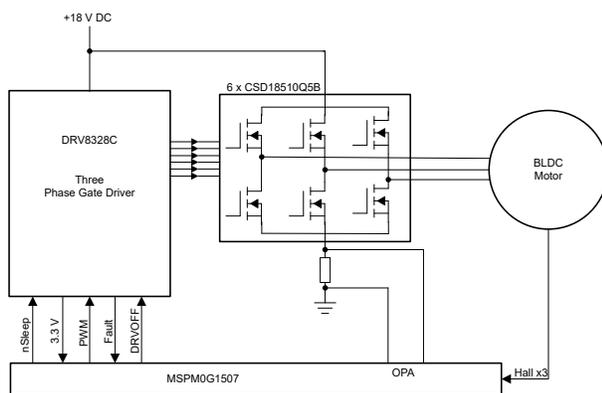
- ブラシレス DC (BLDC) モーター用の 600W ドライブで、センサ・ベースの台形制御に対応
- 5V~21V の動作範囲設計
- 最大 33A_{RMS} の連続巻線電流をサポート
- 60mm x 60mm の PCB フォーム ファクタ
- 20kHz のユニポーラ台形制御において、18V と 600W の動作条件下で高効率を達成
- 動作時周囲温度: -20°C ~ +55°C

アプリケーション

- コードレス・ハンディタイプ園芸用器具
- コードレス電動工具
- コードレス掃除機
- 芝刈り機



テキサス・インスツルメンツの TI 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

ドリル、粉碎、切削、研磨、締め具の駆動などの電動工具は、さまざまな産業や家庭で使用されています。最も一般的な電動工具では電動モーターを使用していますが、中には内燃エンジン、蒸気エンジン、圧縮空気を使用するものもあります。電動工具は、コード付きまたはコードレス (バッテリー駆動) のいずれかです。コード付き電動工具は、主電源 (グリッド電源) を使用して AC または DC モーターに電力を供給します。

コードレス工具は、バッテリー電源を使用して DC モーターを駆動します。コードレス工具のほとんどは、業界でも最先端の高エネルギー密度、軽量、長寿命を実現したリチウムイオン電池が使用されています。電動工具には、さまざまな種類の電力レベルとバッテリー電圧レベルがあります。コードレスのチェーンソーや丸のこぎりなどの電動工具、コードレスの木材や枝の伐採道具などの園芸用器具は、非常に高いトルクと高ピーク電流が必要です。

コードレス工具には、ブラシ付き、またはブラシレス (BLDC) モーターが使用されます。BLDC モーターは効率がよく、メンテナンス性に優れ、低ノイズ、長寿命を実現しています。電動工具には、フォーム・ファクタ、小売り湯性、ピーク電流、信頼性、熱性能に関する要件があります。そのため、電動工具のモーターの駆動にはコンパクトなサイズの高効率な電力段が必要です。電力段のフォーム・ファクタが小さくなることにより、柔軟な取り付けが可能になり、PCB レイアウト性能は向上し、設計のコストが低減します。高効率のため、バッテリーの持続時間は最大化し、冷却の手間は軽減します。それに対し、高効率の要件として、低ドレイン・ソース間抵抗 ($R_{DS(on)}$) を搭載したスイッチング・デバイスが必要になります。また、電力段は、モーター・ストールや何らかの原因による高電流防止などの保護機能が利用できる必要があります。

このリファレンス・デザインでは、SON5 x 6 SMD パッケージに $0.79m\Omega$ の超低 $R_{DS(on)}$ を搭載した CSD18510Q5B MOSFET を使用しています。DRV8328C 3 相ゲート・ドライバは 3 相 MOSFET ブリッジの駆動に使用され、4.5V ~ 60V で動作し、最大設定値 2A (シンク) と 1A (ソース) のプログラマブル・ゲート電流をサポートしています。DRV8328C は低ドロップアウト (LDO) に対応しており、MCU への電源供給に役立ちます。TPM61 温度センサは、FET 温度の検出に使用します。MSPM0G1506 マイコンは、アルゴリズム制御を実装するために使用します。

1.1 主なシステム仕様

パラメータ	仕様
入力電圧	18V DC (最小 5V ~ 最大 21V) - 5 セル・リチウムイオン
定格出力電力	600W
RMS 電流	33A
制御方式	センサ・ベースの台形波
インバータ・スイッチング周波数	20kHz
フィードバック信号	DC バス電圧、ホール・センサ、ローサイド DC バス電流
基板仕様	60mm x 60mm、4 層、2 オンス銅箔
動作時周囲温度	-20°C ~ 55°C

警告

テキサス・インスツルメンツは、このリファレンス・デザインをラボ環境のみで使用するものとし、この基板を一般消費者向けの完成品とはみなしておりません。

テキサス・インスツルメンツは、このリファレンス・デザインを高電圧電気・機械部品、システム、およびサブシステムの取り扱いに伴うリスクを熟知した有資格のエンジニアおよび技術者のみが使用するものとしています。

表面は高温！ 触れるとやけどの原因になることがあります。**触れないでください！** 一部の部品は、基板に電源を投入すると 55°C 以上の高温に達することがあります。動作中は常に、また電源オフ後すぐは高温になっているため、基板に触れないでください。

注意

電源を入れたままその場を離れないでください。

2 システム概要

図 2-1 に、リファレンス・デザイン・ブロック図を示します。

システム全体は、次のリストのブロックに示されています。

- 3 相モーター・インバータ段
- MCU コントローラ
- モーター相電流検出
- UART シリアル通信

2.1 ブロック図

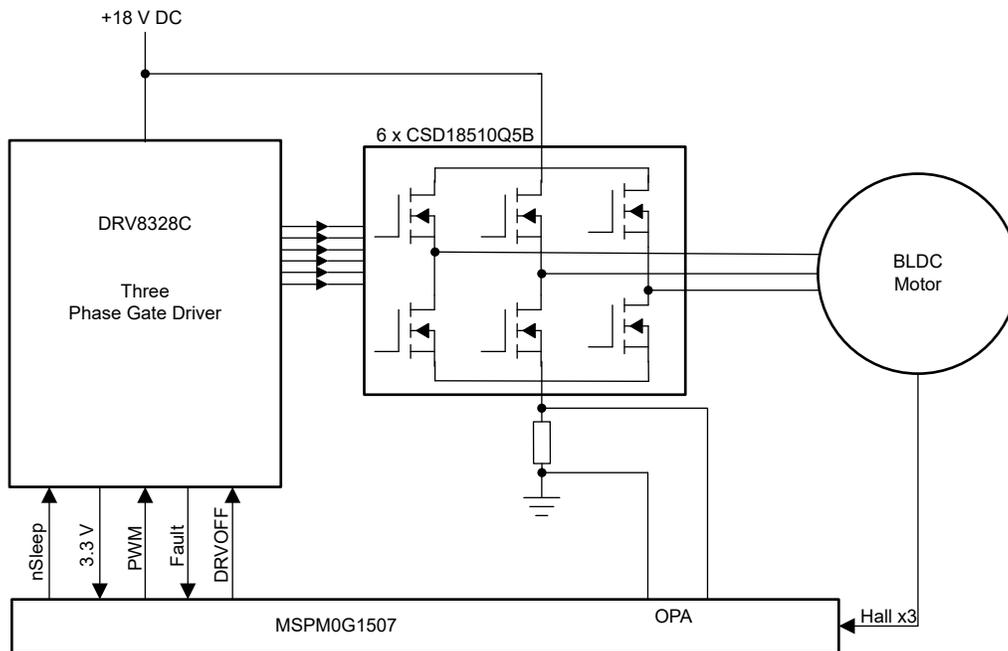


図 2-1. TIDA-010251 のブロック図

2.2 設計上の考慮事項

リファレンス・デザインには以下のサブブロックが含まれています。

- ゲート・ドライバと FET を含む 3 相電力段
- センサ付き台形制御用のモーター位置センサ (3 個のホール・ラッチ) インターフェイス
- トルク制御と MCU から供給されるソフトウェア電流制限用の DC バス・ローサイド電流検出
- オンボード温度センサを使用した MOSFET 温度検出
- 必要なモーター制御アルゴリズム、検出、保護を実装するホスト・コントローラ

2.3 主な使用製品

このリファレンス デザインでは、以下の主な製品を使用しています。次のセクションでは、このリファレンス デザインで使用するデバイスを選択するための主な機能について説明します。主なデバイスの詳細については、それぞれの製品データシートを参照してください。

2.3.1 DRV8328C

ゲート・ドライバを選択する際の主な要件は以下のとおりです。

- スwitchング損失の低減に十分なソース電流およびシンク電流
- MOSFET が最小の $R_{DS(ON)}$ で確実に導通できるだけの十分な高ゲート駆動電圧
- 高レベルの過電流およびその他の保護機能により、モーターのストールや短絡などのワーストケース条件下で信頼性の高いシステム動作が可能

DRV8328 ファミリのデバイスは、3 相アプリケーション用の統合型ゲート・ドライバです。このデバイスには、3 つのハーフブリッジ・ゲート・ドライバがあり、それぞれがハイサイドとローサイドの N チャネル・パワー MOSFET を駆動できます。このデバイスは、内蔵のチャージ・ポンプを使用して適切なゲート駆動電圧を生成し、ブートストラップ回路を使用してハイサイド MOSFET を強化します。100% デューティ・サイクルをサポートするためにトリクル・チャージ・ポンプを備えています。このゲート・ドライブのアーキテクチャは、最大でソース 1A、シンク 2A のピーク・ゲート駆動電流をサポートします。このデバイスには高精度の 3.3V LDO が内蔵されており、外部コントローラへの電力供給に使用できます。DRV8328 は、単一電源で動作可能であり、4.5V~60V の広い入力電源電圧範囲に対応します。

2.3.2 MSPM0G1507

MSPM0G150x マイコン (MCU) は、最大周波数 80MHz で動作する拡張 Arm® Cortex®-M0+ 32 ビット・コア・プラットフォームをベースにした、高集積超低電力 32 ビット MCU ミックスド・シグナル・プロセッサ (MSP) ファミリの一部です。このようにコスト的に最適化された MCU は、高性能のアナログ・ペリフェラルを統合し、-40°C~125°C の拡張温度範囲をサポートし、供給電圧範囲 1.62V~3.6V で動作します。

MSPM0G150x デバイスは、エラー訂正コード (ECC) を内蔵した最大 128KB の組み込みフラッシュ・プログラム・メモリとハードウェア・パリティ・オプション付き、最大 32KB の SRAM を搭載しています。さらに、このデバイスは、メモリ保護ユニット、7 チャネル DMA、演算アクセラレータ、および 2 つの 12 ビット 4MSPS ADC、構成可能な内部共有電圧リファレンス、1 つの 12 ビット 1MSPS DAC、リファレンス DAC 内蔵の高速コンパレータ 3 つ、プログラマブル・ゲイン付きゼロドリフト、ゼロクロスオーバー・オペアンプ 2 つ、汎用アンプ 1 つを含む、さまざまな高性能アナログ・ペリフェラルも統合しています。これらの統合されたアナログ・ペリフェラルおよび処理能力により、フォーム・ファクタは大幅に低減され、MSPM0G150x シリーズはホール効果位置センサ測定付きのモーター制御アルゴリズムを実装したり、ローサイド電流検出を動作させるための強力なオプションになります。

2.3.3 CSD18510Q5B

MOSFET を選択する際の主な要件は次のとおりです。

- 高効率性 (動作条件下で低損失の MOSFET)
- 設計のフォームファクタを低減させる小型サイズ
- 低い $R_{DS(on)}$
- 高いピーク電流能力

このリファレンス・デザインは、6 個の CSD18510Q5B MOSFET を使用して 3 相インバータを実装しており、要件を満たしています。MOSFET の定格は最大 40V で、SON 5mm x 6mm NexFET™ パワー MOSFET に 0.79mΩ の $R_{DS(ON)}$ を備えており、電力変換アプリケーションでの損失を最小限に抑えるよう設計されています。

2.3.4 TMP61

TMP61 は、正温度係数 (PTC) を持つ、リニア・シリコン・サーミスタです。このデバイスは温度依存抵抗として動作し、システムレベルの要件に応じて、さまざまな構成で温度を監視できます。TMP61 の 25°C での公称抵抗値は 10kΩ で、最大許容誤差が ±1%、最大動作電圧は 5.5V、最大電源電流は 400μA です。このデバイスには、追加の線形化回路が不要、キャリブレーションが最小限、抵抗公差の偏差が小さい、高温での感度が高い、変換方式が簡単などの利点があるため、プロセッサ内の時間とメモリを削減できます。このデバイスは、さまざまなアプリケーションで、標準的な 0402 フットプリントと互換性のある超小型 DEC パッケージ・オプションがある場合に、熱源付近の温度監視に使用できます。

3.2 電力段の設計: DRV8328 のゲート・ドライバ

図 3-2 に DRV8328 のゲート・ドライバの回路図を示します。PVDD は DC 電源入力です。ここでは、PVDD は 18V のバッテリー電圧です。10 μ F のコンデンサ (C6) は PVDD のコンデンサとして使用されています。C10 はチャージ・ポンプ・コンデンサです。ローサイド・ゲート・ドライバの電源電圧は、PVDD 電源からのリニア・レギュレータ GVDD 付きチャージ・ポンプを使用して生成され、12V に調整されます。電圧定格とコンデンサの選択については、「[DRV8328 4.5~60V 3 相 BLDC ゲート・ドライバ](#)」データシートを参照してください。

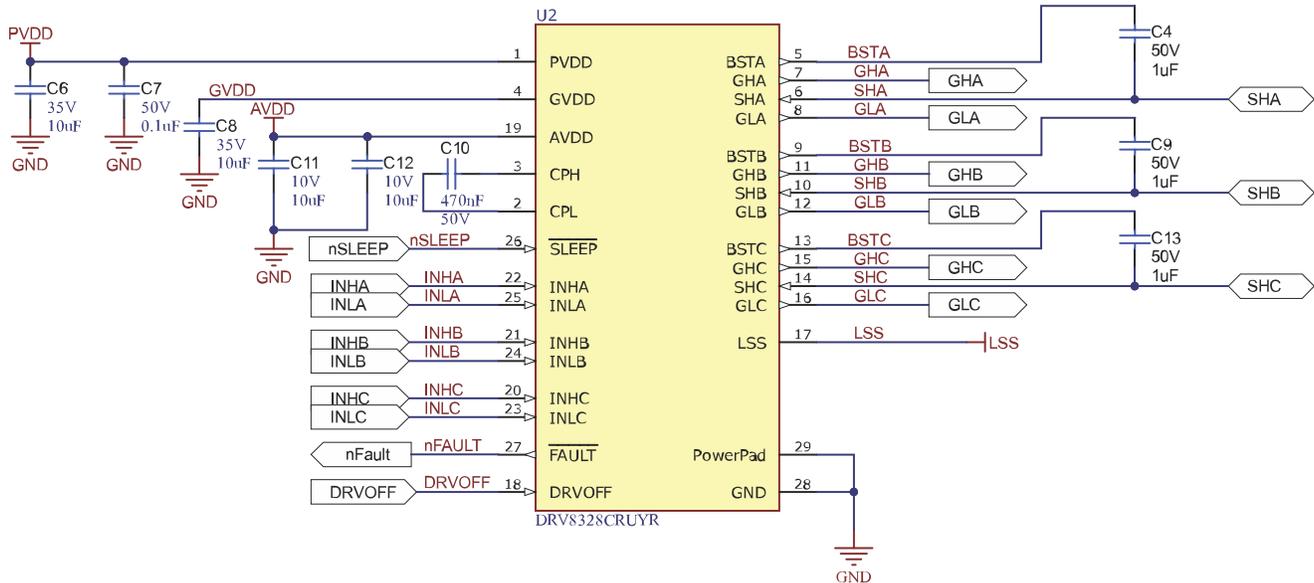


図 3-2. DRV8328 のゲート・ドライバ回路

3.2.1 DRV8328 の特長

DRV8328 ファミリのデバイスは、3 つの独立したハーフブリッジ・ゲート・ドライバ、トリクル・チャージ・ポンプ、ハイサイドおよびローサイド・ゲート・ドライバの 12V 電源電圧用リニア・レギュレータを搭載したチャージ・ポンプを統合することにより、システムのコンポーネント数、コスト、複雑性を低減しています。また、このデバイスには高精度の低電圧レギュレータ (AVDD) も内蔵されており、80mA 出力で 3.3V に対応しています。ハードウェア・インターフェイスにより、モーター・ドライバの構成とモーターの制御を簡素化できます。

このゲート・ドライバは、外付け N チャンネル・ハイサイド / ローサイド・パワー MOSFET をサポートしており、30mA の平均出力電流で最大 1A (ソース) / 2A (シンク) のピーク・ゲート駆動電流を供給できます。コンデンサ付きのブートストラップ回路はハイサイド・ゲート・ドライバの電源電圧を生成し、トリクル・チャージ・ポンプを使用して 100% のデューティ・サイクルをサポートします。ローサイド・ゲート・ドライバの電源電圧は、12V に制御される PVDD 電源からリニア・レギュレータ GVDD を搭載したチャージ・ポンプを使用して生成されます。

高いレベルでデバイスが統合されていることに加え、DRV8328 ファミリのデバイスには、電力段の信頼性を高めるために、次のような広範な保護機能も組み込まれています。

- 電源低電圧誤動作防止
- レギュレータ低電圧誤動作防止
- ブートストラップ電圧の低電圧誤動作防止
- VDS 過電圧保護
- SENSE 抵抗過電流監視
- 過熱シャットダウン
- フォルト・イベント検出

3.2.2 AVDD リニア電圧レギュレータ (LDO)

外付け回路では、3.3V、80mA のリニア・レギュレータを使用できます。LDO の出力は 3.3V に固定されています。このレギュレータは、低消費電力 MCU や、必要な電源電流が小さいその他の回路に電源電圧を供給できます。

表 3-1 に、このリファレンス・デザインで使用するリニア・レギュレータの仕様を示します。

表 3-1. レギュレータの仕様

パラメータ	仕様
最大負荷電流	80mA
低消費電力スリープ・モード時の I_q	25°C で 1 μ A 未満
許容電圧	$\pm 3\%$

3.3 電力段の設計: MSPM0 マイコン

MSPM0G1507 MCU の構成の回路図を 図 3-3 に示します。このリファレンス・デザインでは、10 μ F のデカップリング・コンデンサ (C1 および C2) を使用します。MCU の GPIO 機能は、PWM 生成に使用されます。タイマ・インスタンスとそれに対応するピンが、ハイサイド・スイッチ PWM にマップされます。別のタイマ・インスタンスとそれに対応するピンが、ローサイド・スイッチ PWM にマップされます。

このリファレンス・デザインはバイポーラ BLDC 制御を使用しており、高周波数でハイサイド・スイッチを切り替えます。ローサイド・スイッチは、フリーホイール期間中にモーター電流の電気周波数で切り替わることで、アクティブなフリーホイールを実現し、損失を低減できます。この電気周波数はかなり低く、高周波での切り替わりと同じスイッチ (ハイサイド・スイッチを補完) になります。入力電源電圧監視、速度制御用のポテンシオメータ電圧、温度センサ出力などすべてのフィードバック信号電圧は、MCU の 12 ビット逐次比較型 (SAR) ADC チャンネルにインターフェイスを確立します。

また、この設計では、MCU 内部にプログラマブル・ゲイン・ペリフェラルを搭載した統合型オペアンプを使用して、ローサイド電流検出を行っています。これを実現するために、3 相インバータのローサイドにあるセンス抵抗の両端の電圧を MCU のオペアンプ入力の 1 つの正と負の端子 (OPA+ と OPA-) に印加します。これにより、この設計では外付けの電流センス・アンプは不要になります。

3.3.1 MSPM0G1507 を使用したローサイド電流検出

MSPM0G1507 は、高性能なアナログ・ペリフェラルの他にも、プログラマブル・ゲイン付きゼロドリフト、ゼロクロスオーバー・オペアンプを 2 つ搭載しています。ローサイド電流測定は、一般に過電流保護、外部トルク制御、または外部コントローラによるブラシレス DC の整流を実装するために使用されます。MCU に搭載されているオペアンプの 1 つを使用して、ハーフブリッジ電流の合計値を検出できます。電流センスのゲイン測定はソフトウェアで構成可能なため、電流センス抵抗と入力直列抵抗以外の部品は追加不要です。

OPA ペリフェラルは、以下の主な電流検出機能にも対応しています。

- 精度とドリフト性能を向上させる、ソフトウェアで選択可能なゼロドリフト・チョッパ安定化機能
- オフセット誤差を除去するための工場出荷時トリミング
- センサの状態を監視する内蔵バーニアアウト電流源
- 最大 32 個のプログラマブル・ゲイン・アンプ

オペアンプの出力は、MCU に内蔵された 12 ビット逐次比較型 (SAR) ADC のチャンネルの 1 つで直接読み取ります。OPA+ と OPA- ピン間の電圧にオペアンプのプログラムされたゲイン (PGA) を乗算します。

3.3.2 温度検出

図 3-3 に、PCB 温度の測定に使用する温度検出回路を示します。TMP61 シリコン・リニア・サーミスタは、線形の正温度係数 (PTC) により、広い動作温度範囲にわたって安定した温度係数抵抗 (TCR) を実現します。TMP61 は、NTC に比べて精度が高く、速度の取得が容易です。(温度フォームは不要)

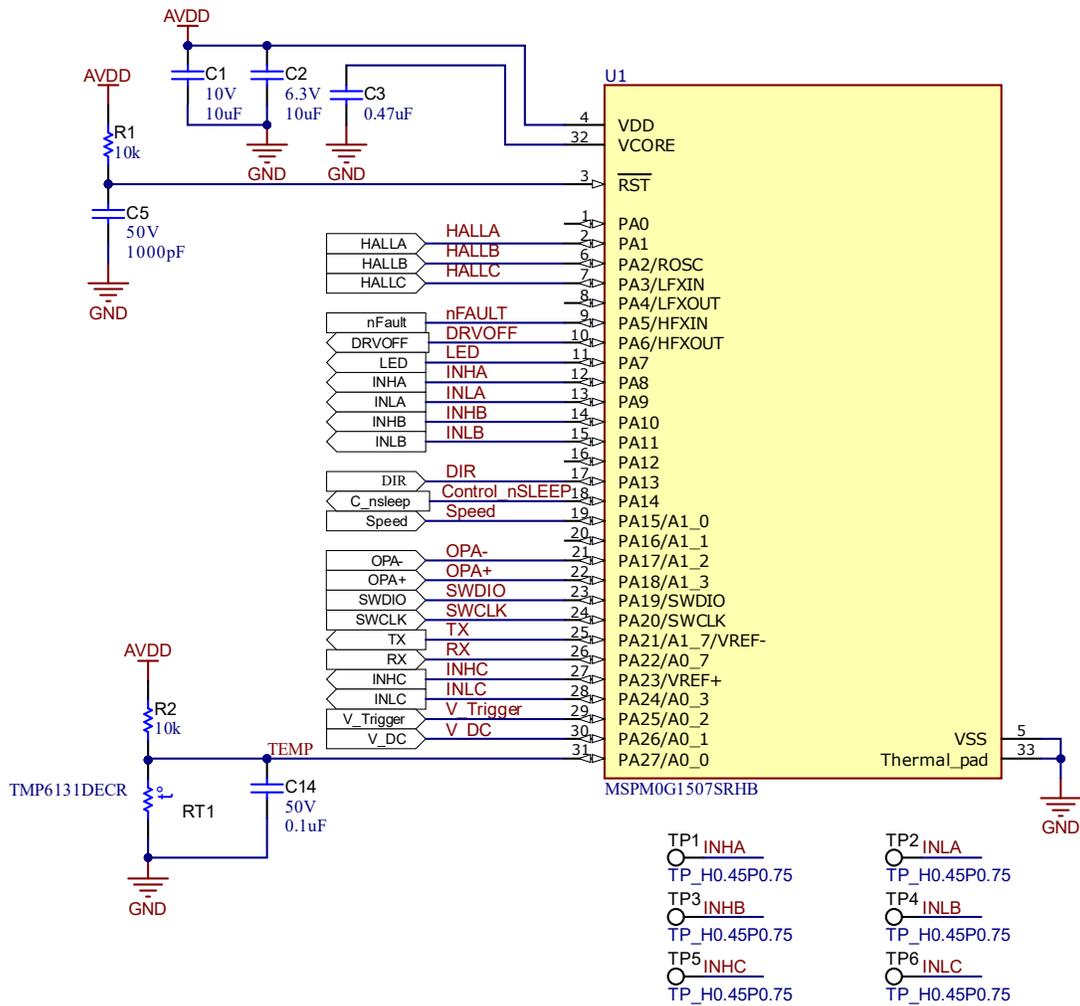


図 3-3. MSPM0G1507 の回路図

3.4 電力段の設計: 外部インターフェイスのオプションと通知

3.4.1 ホール・センサのインターフェイス

図 3-4 に、モーターから基板へのホール・センサのインターフェイスを示します。DRV8328 ゲート・ドライバからの AVDD 出力は、ホール・センサの電源として使用されます。通常、ホール・センサにはオープン・ドレインまたはオープン・コレクタ構成があります。R4、R5、R6 はプルアップ抵抗として使用します。R9、R11、R12、および C21、C22、C23 は、ホール・センサ入力でノイズ・フィルタを形成します。

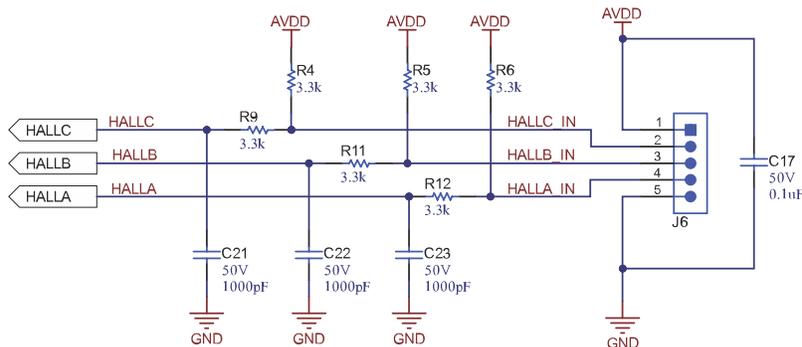


図 3-4. ホール・センサのインターフェイス

3.4.2 入力電力電圧の監視

入力電力電圧 (PVDD) は、抵抗 R7 と R28 で構成される分圧抵抗を使用して測定します。入力電源電圧を監視するために、MCU の内蔵 ADC のチャンネルの 1 つを使用して、R28 の両端の電圧とコンデンサ C20 (V_DC) を読み取ります。

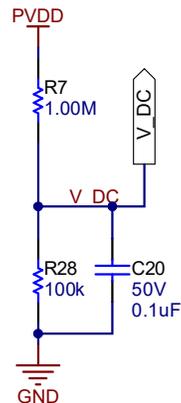


図 3-5. 電圧検出回路

3.4.3 モーターの速度制御

ポテンショメータ (POT) を使用して速度制御を行い、POT 電圧を MCU の ADC に供給します。図 3-6 に回路を示します。この POT の電力は AVDD から供給されます。ジャンパ J2 の外部に 20kΩ のポテンショメータを接続できます。POT の固定端子を J2 の端子 1 と端子 3 に、中間点を J2 の端子 2 に接続します。

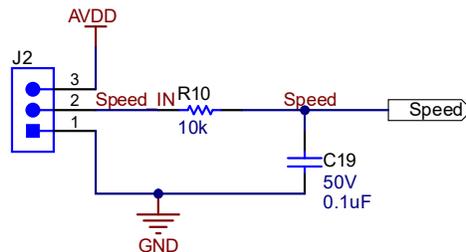


図 3-6. 速度制御インターフェイス

3.4.4 回転の方向: デジタル入力

図 3-7 は、J3 ジャンパを使用してモーターの回転方向を設定することを示しています。ジャンパの開閉で回転方向を変更できます。

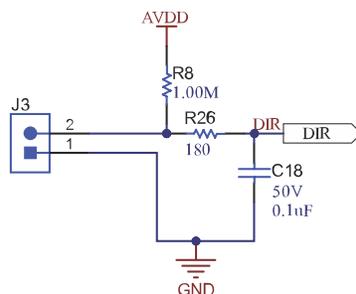


図 3-7. 方向制御インターフェイス

3.4.5 MCU のプログラミング・インターフェイス

図 3-8 に、J5 ジャンパを使用して MCU と MCU デバッガを接続する方法を示します。MCU デバッガを使用して、MSPM0G1507 MCU をプログラムします。

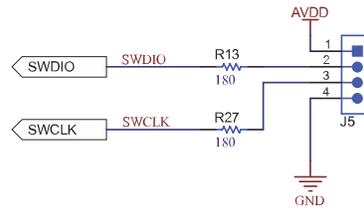


図 3-8. プログラミング・インターフェイス

3.4.6 データ転送

ジャンパ J8 (図 3-9 を参照) は、この設計の MSPM0G1507 MCU と他の MCU または UART (汎用非同期送受信) 上のホストとの間でのデータの送受信に使用します。このデータは、内蔵 ADC が外部監視用に収集した読み取り値になります。このためには、外部 TX ピンを J8 の端子 3 に接続し、外部 RX ピンを J8 の端子 2 に接続します。

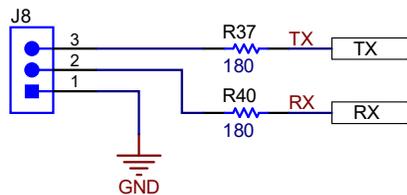


図 3-9. UART インターフェイス

3.4.7 LED インジケータ

3 つの発光ダイオード (LED) (D3、D5) を使用して、この設計の動作に関するさまざまな状態を示します。図 3-10 を参照してください。D3 は緑色の LED で、基板に電源が正常に供給されていること、および AVDD 電圧が DRV8328 によって正しく生成されていることを示します。この LED は、内蔵 LDO を経由して AVDD 電圧が有効になると点灯します。D5 は黄色の LED で、MSPM0G1507 が正常に動作しているかを確認するデバッグに使用されます。必要に応じて、MCU から LED 信号 (障害信号など) をプログラムし、D5 を切り替えることができます。

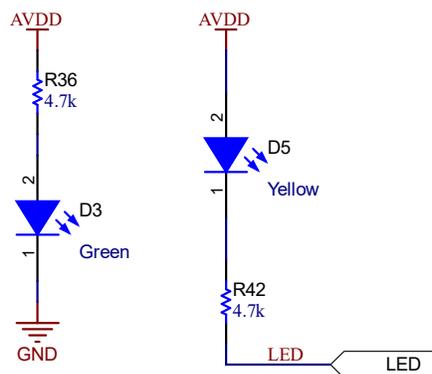


図 3-10. LED インジケータ

3.4.8 スリープ・モード・エン트리制御

スリープ・モード・エン트리制御のサブ回路 (図 3-11 を参照) は、DRV8328 のスリープ・モード・エントリ・ピンの制御に使用します。このピンが論理 Low にプルされると、デバイスは低電力スリープ・モードに移行します。MSPM0G1507 MCU からの制御 nSLEEP 信号を使用して、サブ回路でスリープ・モード・エントリ・ピンを切り替えることができます。

この信号が論理 High にプルされると、DRV8328 のスリープ・モード・エントリ・ピンは Low にプルされ、低電力スリープ・モードに移行します。この信号が論理 Low にプルされると、スリープ・モード・エントリ・ピンは High にプルされ、DRV8328 はオン状態を維持します。

J7 が切断されている場合は、nSLEEP は MCU によって Low レベルに制御され、スリープ・モードに移行します。通常のテストでは、J7 を短絡させることができます (nSLEEP は常にイネーブル)。

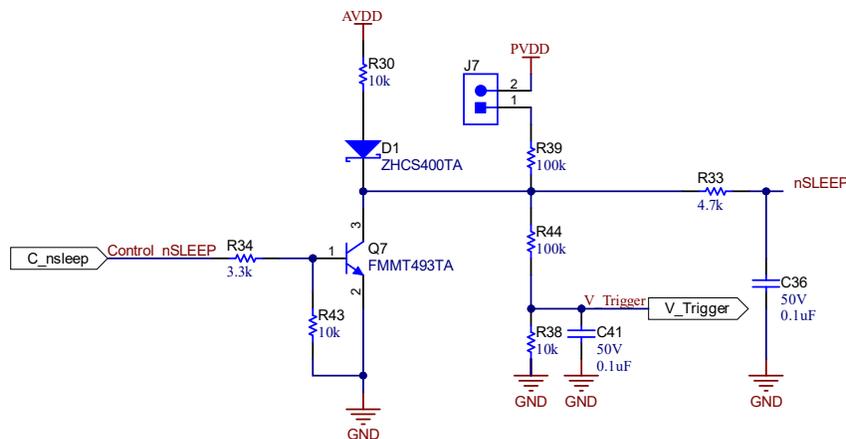


図 3-11. スリープ・モードのインターフェイス

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

4.1.1 ハードウェア基板の概要

図 4-1 に、TIDA-010251 の基板上にあるさまざまな部品を示します。以下に、これらの部品について説明します。

- 電源用 2 端子入力: このピンを使用して、バッテリーと入力 DC 電源を接続します。正および負の端子の識別は、図 4-1 に書かれているとおりです。
- モータ巻線接続用 3 端子出力: 3 相 BLDC モーター巻線に接続するための位相出力接続で、PHA、PHB、PHC と書かれています
- 3 ピン・コネクタ J2: J2 を使用して、速度リファレンス用の外部ポテンシオメータとのインターフェイスを確立します
- 2 ピン・コネクタ J3: J3 を使用して、モーターの方向を変更します。このコネクタを外部で短絡または開放すると、モーターの回転方向が変化します
- 4 ピン・コネクタ J5: これは MSPM0 MCU のプログラミング・コネクタです
- 5 ピン・コネクタ J6: これは、モーターとホール位置センサを接続するためのインターフェイスです
- 2 ピン・コネクタ J7: J7 ジャンパを閉じると、NSLEEP ピンが有効になります
- 2 ピン・コネクタ J8: このコネクタは、外部 UART 通信インターフェイスに使用します

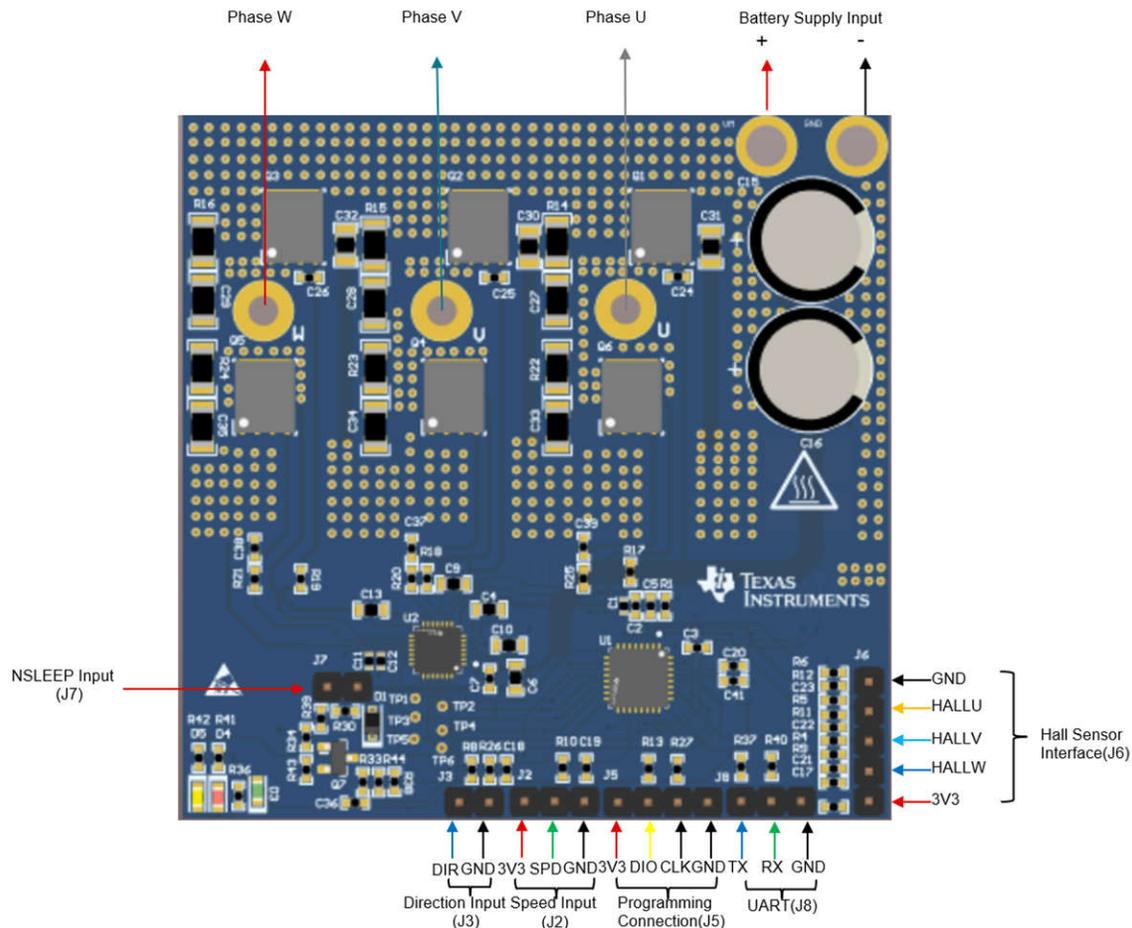


図 4-1. ハードウェア基板の概要

4.2 ソフトウェア要件

テキサス・インスツルメンツは、評価に役立つシンプルなセンサトラップ コードを提供しています。以下のソフトウェアをインストールします。

- CCSTUDIO: <https://www.ti.com/tool/CCSTUDIO>
- SYSCONFIG: <https://www.ti.com/tool/SYSCONFIG>
- MSPM0-SDK: <https://www.ti.com/tool/MSPM0-SDK>

コードの紹介については、以下のファイルを確認してください。

- テキサス・インスツルメンツのリソース Explorer: https://dev.ti.com/tirex/explore/node?node=A_AF0H5agzc7PawvYX9sgMZw__MSPM0-SDK__a3PaaoK__LATEST&placeholder=true
- MSPM0-SDK:<インストール先
>mspm0_sdk_1_20_00_05\docs\english\middleware\motor_control_bldc_sensored_trap_hall

(mspm0_sdk_1_20_00_05 以降のバージョンを使用してください)

リファレンス コードを起動するには、以下の手順に従います。

1. CCS を開き、コード プロジェクト (<インストール先
>\mspm0_sdk_1_20_00_05\examples\nortos\LP_MSPM0G3507\motor_control_bldc_sensored_trap_hall\drv8328\tida-010251-gui-firmware) を CCS にインポートします。
2. TIDA-010251 基板に合わせて Main.c の行 65 から 67 を変更します。

```
65     hallTrap.phaseA      = HAL_PWM_01;
66     hallTrap.phaseB      = HAL_PWM_02;
67     hallTrap.phaseC      = HAL_PWM_03;
```

3. ファームウェアをビルドおよびデバッグし、guiVar、reading、ADD WATCH EXPRESSION の順に選択し、必要に応じて次の図のパラメータを調整します。guiVar から CSA ゲインや PWM 周波数などを設定し、reading で電圧と電流のデータを観測します。

▼  guiVar	struct GUI_Params	{motorDirection=MOTOR_DIR_FORWARD,ns...
(x) motorDirection	enum volatile MOTOR_DIR	MOTOR_DIR_FORWARD
(x) nsleepSignal	enum volatile drv8328_DRV_NSLEEP_STAT	drv8328_DRV_NSLEEP_SLEEP
(x) drvoffSignal	enum volatile drv8328_DRVOFF_PIN_STAT	drv8328_DRVOFF_PIN_LOW
(x) stopMotor	enum volatile MOTOR_STATE	MOTOR_STATE_RUN
(x) motorBraketype	enum volatile MOTOR_BRAKE_TYPE	MOTOR_BRAKE_TYPE_COAST
(x) CSAGain	unsigned short	0
(x) pwmFreq	unsigned short	0
(x) deadTime_ns	unsigned short	0
(x) accRate	unsigned short	0
(x) pulseWidth	unsigned short	0
(x) adcVRef	enum volatile HAL_ADC_VREF	HAL_ADC_VREF_VDDA
(x) adcInternalVRef	enum volatile HAL_ADC_INT_VREF	HAL_ADC_INT_VREF_2P5V
(x) adcExternalVRef	unsigned short	0
▼  reading	struct GUI_readings	{busVoltage=0.0,voltagePhaseA=0.0,voltage...
(x) busVoltage	float	0.0
(x) voltagePhaseA	float	0.0
(x) voltagePhaseB	float	0.0
(x) voltagePhaseC	float	0.0
(x) busCurrent	float	0.0

4. SPEED ピンは 0~3.3V の電圧を入力し、入力に応じてコードをデューティ駆動モータに変換します。
5. reading 構造における busvoltage と busCurrent の変化を観測します。

注意

大電力テストを実施する場合、コードを理解し、パラメータを正しく構成していることを確認します。

4.3 テスト設定

基板の起動とテストについては、以下の手順に従ってください。また、[図 4-1](#) も参照してください。

- 基板からモーターの接続を取り外し、入力 DC 電源をオンにします。基板に 15V 以上の DC 入力が入力され、3.3V が生成されていることを確認します
- MCU の詳細をプログラムします
- プログラムを削除し、DC 入力電源をオフにします
- インバータ出力をモーター巻線端子に接続します
- 位置ホール センサ入力を接続し、巻線接続とホール センサ接続が一致していることを確認します
- J7 を接続して、nSLEEP を有効にします
- POT をインターフェイス J2 に接続し、速度リファレンスを設定します
- 電流制限保護機能を搭載した DC 電源を使用して、基板に 18V DC を印加します。ホール センサと巻線がマッチング シーケンスで正しく接続されていると、POT で設定された速度でモーターが動作を開始します
- モーターが回転せず、大電流が流れている場合、またはモーターが回転して、ピーク巻線電流波形が歪んでいる場合は、巻線とホール センサの接続が一致しているかを確認し、正しくない場合は接続シーケンスを修正して一致させます
- 速度の変化に合わせて、POT の電圧を調整します
- 方向を変更するには、J3 ジャンパを閉じます

4.4 テスト結果

次のセクションで、テスト・データを示します。テスト結果は複数のセクションに分かれており、定常状態の性能とデータ、機能性能の波形、BLDC モーターの過渡性能の波形をすべて掲載しています。

4.4.1 DRV8328 ゲート・ドライバの機能評価

4.4.1.1 DRV8328 リニア・レギュレータの性能

DRV8328C は 18V の入力電圧で 3.3V を生成し、平均 80mA の電流を供給するように設計されています。図 4-2 に、負荷電流が約 10mA 未満のときの 3.3V ラインの電圧リップルを示します。リップルは 10mV 未満であり、逆起電力センシングおよび電流センシング用の MCU ADC ピン電圧リファレンスに十分な値であると想定されています。

- CH2 (シアン):LDO 出力

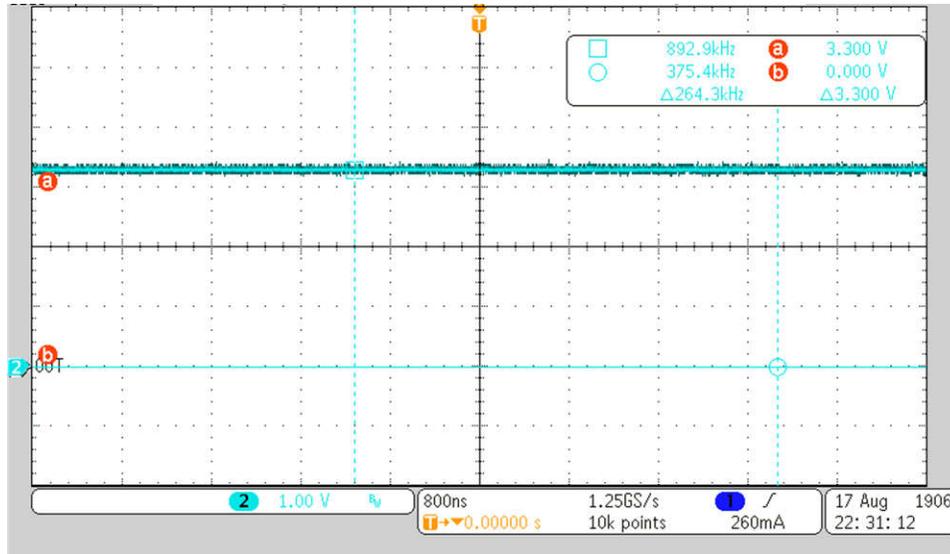


図 4-2. DRV8328C LDO 出力

4.4.1.2 ゲート・ドライバによって生成されるゲート駆動電圧

図 4-3 に、DRV8328 のゲート駆動出力、および DC バス電圧 18V DC における対応の MCU PWM 信号を示します。ゲート駆動電圧は約 13V で、これは標準的な MOSFET が効率的にゲート駆動できる数値です。

図 4-4 に、DC バス電圧 5V での DRV8328 のゲート駆動電圧を示します。この値は、放電されたリチウムイオン・バッテリーから供給される最小電圧です。ゲート駆動出力電圧は約 9V です。

- CH1 (青): ハイサイド V_{GS}
- CH2 (シアン): ローサイド V_{GS}

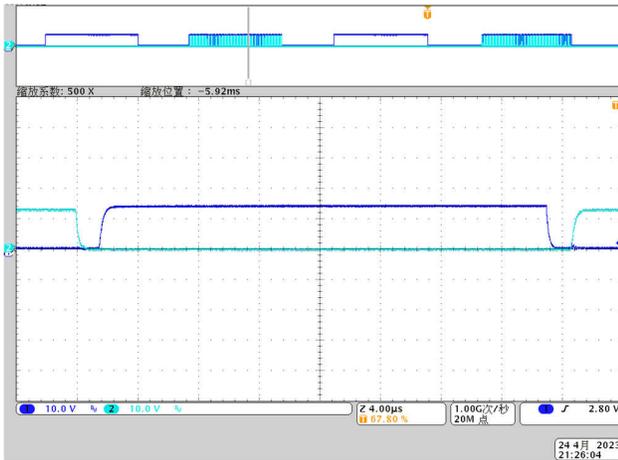


図 4-3. 18V DC 時のハイサイドおよびローサイド V_{GS}

- CH1 (青): ハイサイド V_{GS}
- CH2 (シアン): ローサイド V_{GS}

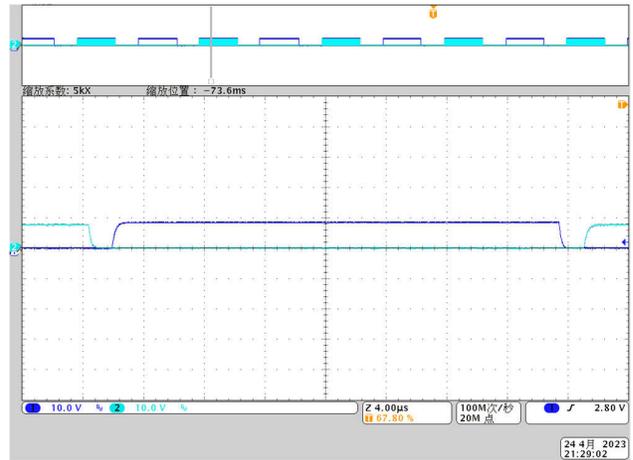


図 4-4. 5V DC 時のハイサイドおよびローサイド V_{GS}

4.4.2 MOSFET のスイッチング波形

図 4-5 に、BLDC モーターの台形波制御をテストするリファレンス・デザインで使用する PWM の回路図を示します。制御は 6 ステップのブロック整流であり、 120° の電気的周期で正の位相巻線電流が流れている間は、PWM が上部スイッチに印加され、下部スイッチはアクティブ・フリーホイールで動作します。 120° の電気的周期で負の位相巻線電流が流れている間は、MOSFET の下部スイッチは常時 ON になります。

- CH2 (シアン): ハイサイド PWM
- CH3 (紫): ローサイド PWM

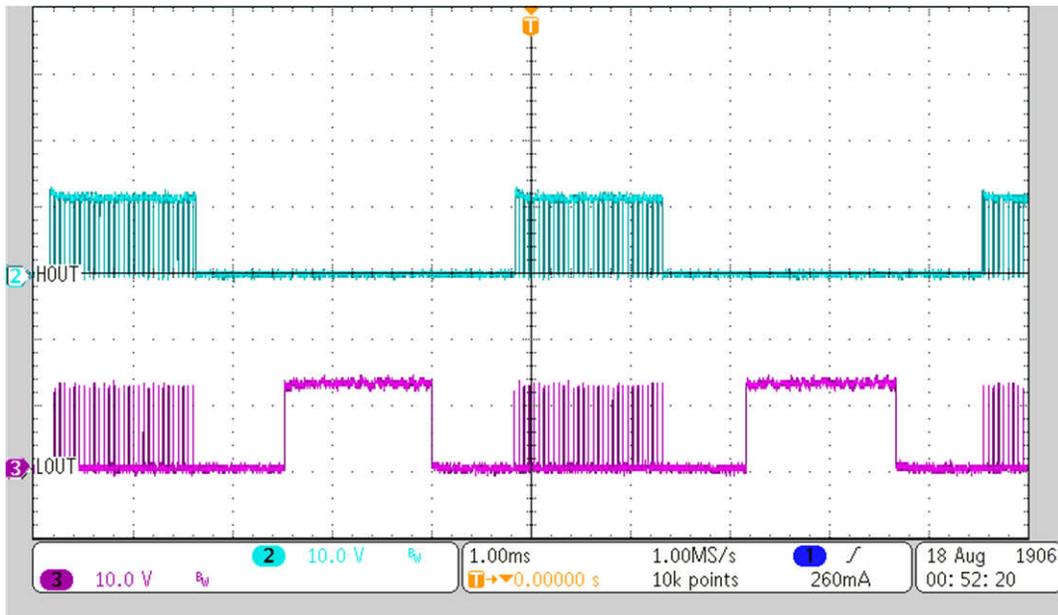


図 4-5. MCU によって生成されるローサイドおよびハイサイド FET PWM

図 4-6 および 図 4-7 に、ローサイドとハイサイド MOSFET の V_{DS} および V_{GS} 波形を示します。このスイッチング波形は、各 FET の 10Ω のゲート抵抗で取得しています。スイッチング波形は、過電圧リングがなくきれいです。

- CH1 (青): ハイサイド V_{DS}
- CH2 (シアン): ハイサイド V_{GS}

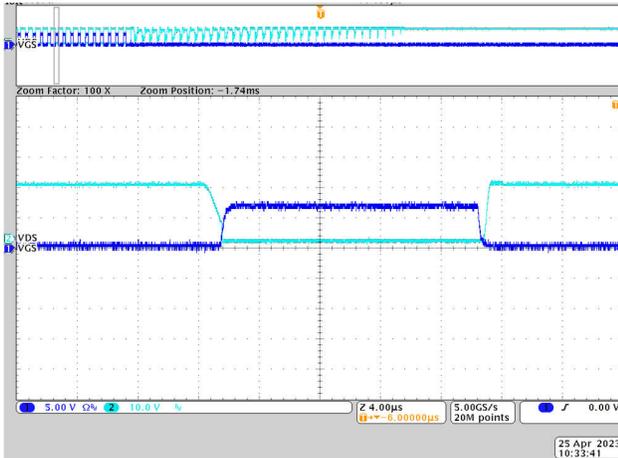


図 4-6. ハイサイド V_{GS} と V_{DS}

- CH1 (青): ローサイド V_{GS}
- CH2 (シアン): ローサイド V_{DS}

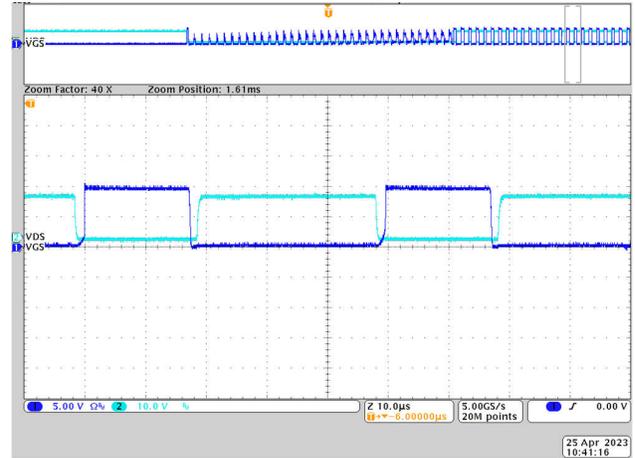


図 4-7. ローサイド V_{GS} と V_{DS}

4.4.3 電流開ループ・テスト

このテストでは、開ループ・モードで位相電流を生成するソフトウェアの動作を示します。通常の台形波電圧と、台形 BLDC 制御によって生成される電流を確認することができます。

- CH1 (青): U 相電流
- CH3 (紫): U 相電圧

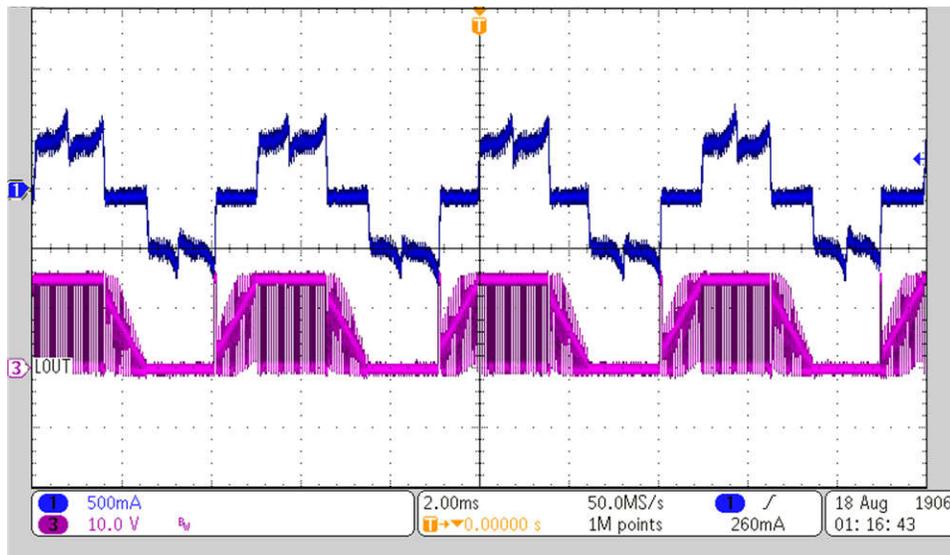


図 4-8. 開ループで動作しているモーター

4.4.4 電流開ループ負荷テスト

図 4-9 から 図 4-12 に、18V DC 入力、10A_{RMS}、33A 巻線電流におけるモーター巻線電流と巻線電圧の波形、および同じ条件下での熱画像を示します。このテストは、15% のデューティ・サイクルで実施されています。

大電流がデバイスを通じたときの電流波形と熱挙動を確認できます。入力電力は、4A~5.5A、72W~100W で 18V です。

- CH1 (青):U 相電圧
- CH4 (緑):U 相電流

ここに記載されているテスト条件では、10A_{RMS} 電流の場合、最大 MOSFET の電流は 49.3°C です。

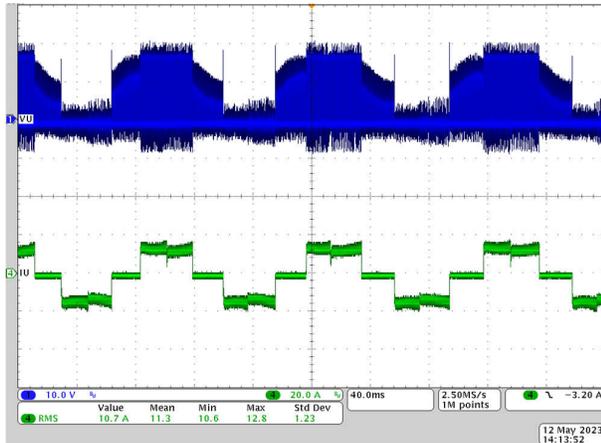


図 4-9. 18V DC 入力、10A_{RMS} 巻線電流、15% デューティ・サイクル

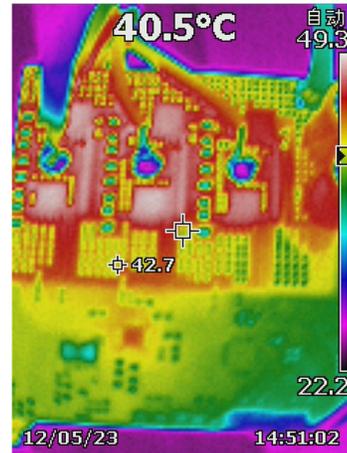


図 4-10. 10A_{RMS} 巻線電流、15% デューティ・サイクル時の熱画像

ここに記載されているテスト条件では、33A_{RMS} 電流の場合、最大 MOSFET の電流は 97.1°C です。

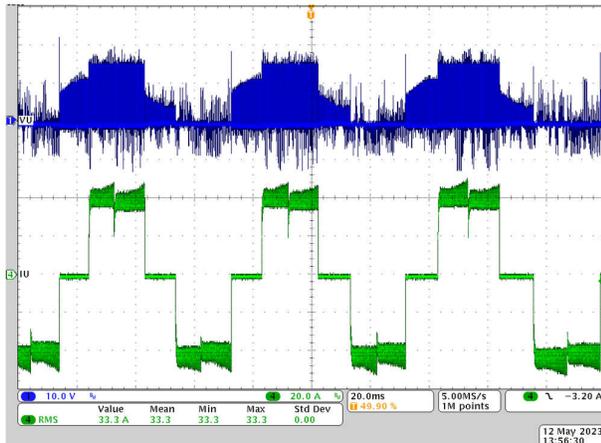


図 4-11. 18V DC 入力、33A_{RMS} 巻線電流、15% デューティ・サイクル

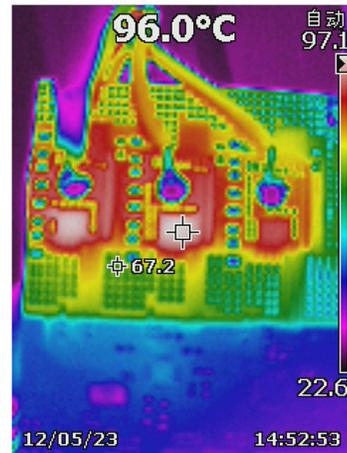


図 4-12. 33A_{RMS} 巻線電流、15% デューティ・サイクル時の熱画像

図 4-13 に、動力計を使用した負荷テストの設定を示します。



図 4-13. 負荷テストの設定

5 設計とドキュメントのサポート

5.1 設計ファイル

5.1.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-010251](#) 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-010251](#) の設計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

ツール

Code Composer Studio™

Code Composer Studio は、テキサス・インスツルメンツのマイコンとプロセッサ向けの統合開発環境 (IDE) です。IDE は、組込みアプリケーションの開発およびデバッグに必要な一連のツールで構成されています。Code Composer Studio は、Microsoft® Windows®, Linux®, macOS® のデスクトップからダウンロードできます。また、[TI developer zone](#) にアクセスし、クラウド環境で実行することもできます。

ソフトウェア

[Ti.com](#) ソフトウェアについては、テキサス・インスツルメンツの販売店にお問い合わせください。

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、[『MSPM0G150x 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](#)
2. テキサス・インスツルメンツ、[『DRV8328 4.5~60V、3 相 BLDC 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、[『CSD18510Q5B N チャンネル NexFET 電力 MOSFET』データシート](#)
4. テキサス・インスツルメンツ、[『TMP61 ±1% 10kΩ 0402 および 0603 パッケージ・オプション付きリニア・サーミスタ』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

TI E2E™, Code Composer Studio™, and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.

Microsoft® and Windows® are registered trademarks of Microsoft Corporation.

Linux® is a registered trademark of Linus Torvalds.

macOS® is a registered trademark of Apple Inc.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

6 著者

ジェンソン・ファング テキサス・インスツルメンツのシステム・エンジニア。モーター制御や BMS ソリューションなどに関する家電製品のシステム開発責任者。

7 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 * (May 2023) to Revision A (December 2023)

Page

- 「ソフトウェア要件」セクションを追加。 13
-

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](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 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。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。

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、TI 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated