

Design Guide: TIDA-010956

統合型モータードライブ向け、48V、3.5kW、小型フォームファクタ、3相インバータのリファレンスデザイン

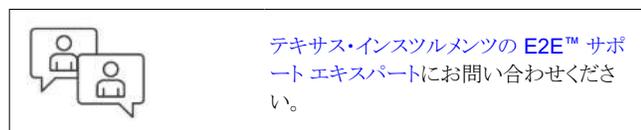


概要

このリファレンスデザインでは、公称 48V の DC 入力と 85A_{rms} の出力電流定格に対応する 3 相インバータを紹介いたします。100V のインテリジェント ハーフブリッジ ゲートドライバ DRV8162L が採用されており、堅牢かつ高効率で小型の電力段を実現できます。セーフトルクオフ (STO) 機能を実現するため、RV8162L の分割電源アーキテクチャを使用するマルチチャネル シャットダウンパスが提案されています。DRV8162L は内部 V_{DS} 監視機能と保護機能を備えており、貫通電流や出力短絡による過電流障害から電力段を保護できます。高精度の相電流検出は、INA241A を使用して実現しています。このデザインは 3.3V I/O インターフェイスを搭載しており、C2000™ MCU のようなホストコントローラを接続して迅速かつ簡単に評価できます。

参照情報

TIDA-010956	デザインフォルダ
DRV8162, INA241A	プロダクトフォルダ
TMP6131, LMR38010	プロダクトフォルダ
LAUNCHXL-F280039C	ツールフォルダ

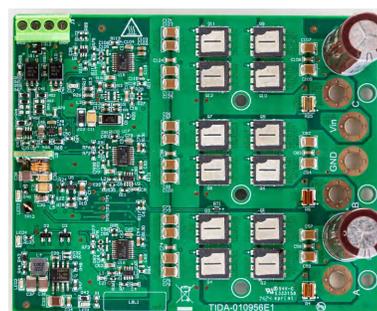
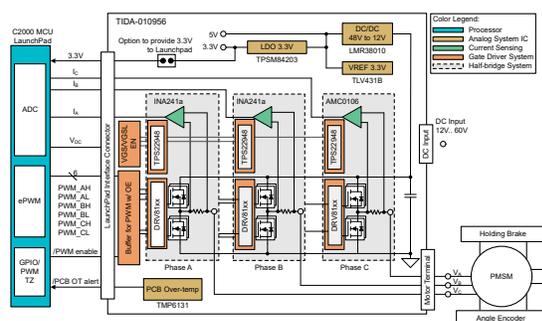


特長

- 3 相インバータ、24V DC~60V DC 入力、85A_{RMS} の連続出力電流
- オンチップ ハードウェア保護機能搭載、スマート ハーフブリッジ ゲートドライバ DRV8162L
- 電力段を包括的に保護: 貫通電流、過電流、短絡、低電圧、および過熱保護
- ゲートドライバのソース/シンク電流は 16mA、32mA~1A、2A にプログラム可能、効率と EMI 性能の最適化が容易
- 構成可能なデッドタイム挿入により貫通電流を回避
- 同相除去比の高いゼロドリフト電流のセンスアンプ INA241A による同相シャント (0.2mΩ) に基づく電流検出
- マルチチャネルのシャットダウンパスにより、STO 機能の柔軟なシステム設計が可能

アプリケーション

- 単軸と多軸のサーボドライブ
- ロボット
- AC インバータと VF ドライブ
- 産業用ロボットおよび協調ロボット
- 移動型ロボット



1 システムの説明

DC 電力で動作するモータードライブ用の多くの低電圧、3 相インバータは、24V DC～60V DC のレールから電力が供給されます。ロボット システムでは、実装する機能に応じて、モーターの電力定格は一般的に 200W、400W、750W、1.5kW、2.5kW ですが、それ以上になる場合もあります。これらのモーターには、モータードライブの電流定格に関して異なる要件があります。

このデザインは、1.5kW～4kW のモーターをサポートしています。48V DC 入力モータードライブ システムの場合、定格出力電流は約 $32A_{rms}$ ～ $85A_{rms}$ で、場合によっては最大 $100A_{rms}$ に達することもあります。

これらの出力段を設計する際、主要な目標は高効率にすることです。高効率を達成できれば PCB サイズを小さくすることができ、ドライバを統合型モータードライブ システムのシェルに収容できます。この場合、電力段が放熱用のヒートシンクとして使用できるのはモーター シェルのみです。

このデザインで PCB の小型化を実現するため、スマート ゲートドライバ DRV8162L の内蔵保護機能を利用すると、貫通電流、過電流、短絡から電力段を保護できます。これらの重要な機能は、従来は外部回路を使用して実現していましたが、PCB サイズが大きくなる要因となっていました。

外部回路を追加せずにシステム効率と EMI 性能を最適化するため、スマート ゲートドライバ DRV8162L には出力ソース電流とシンク電流をプログラムする機能が追加されています。デッド タイム挿入付き V_{GS} ハンドシェイクをイネーブルにすると、貫通電流の発生を防止できます。

ドライバが最高の効率でモータを制御できるように、高い同相除去比、ゼロドリフトを特長とする電流センス アンプ INA241A を使用した同相シャント ベースの電流センシングを採用しています。アンプのゲインが高いことから、 $0.2m\Omega$ のシャントを使用します。低抵抗のシャントが選択されていることは、システムの高効率にも貢献します。

モーターを安全に停止し、予期しない起動を防止できるようにシステムを設計することは、ロボットやファクトリ オートメーションのアプリケーションにおいて重要な要件です。これらのシステム レベル要件を支援し、いわゆるセーフトルク オフ (STO) 機能を実現するため、このリファレンス デザインでは、モーターの予期しない起動を防止できるゲートドライバのシャットダウン パスのさまざまな組み合わせを提案しています。

1.1 リファレンス デザインの概要

このリファレンス デザインは、低電圧サーボ モーター用スマート ハーフブリッジ ゲートドライバを搭載した 48V の 3 相インバータを実装します。このデザインは、48V で包括的なテストを実施済みです。

このリファレンス デザインの主要なビルディング ブロックは、6 つのサブシステムに分けることができます。

1. ゲートドライバと FET を含む 3 相電力段
2. 電圧と同相電流センシング
3. ホストプロセッサインターフェイス
4. 診断測定
5. システムの電源
6. ゲートドライバのマルチレベル シャットダウン オプション

TIDA-010956 ブロック図を [図 2-1](#) に示します。モーターを制御するホスト プロセッサは、このデザインには含まれません。

このデザインの目的は、ゲートドライバと FET に注目して、3 相電力段をテストすることです。同相電流センシングの機能テストも実施中です。診断測定とシャットダウン オプションは、このデザインではまだ十分にテストされていません。

1.2 主なシステム仕様

表 1-1. TIDA-010956 の仕様

パラメータ	値 (標準値)	備考
DC 入力電圧	24V~60V	絶対最大値 80VDC
出力相電流	±85A _{rms}	連続。場合によってはヒートシンクが必要、FET へのエアフローが重要
同相電流センス範囲	±165A	0V~3.3V の範囲でスケールリング、反転型、1.65V バイアス
同相電流センス シャント	0.2mΩ	拡張パルス幅変調 (PWM) 除去機能搭載、差動、非絶縁型アンプ INA241A3
PWM スwitching 周波数	16kHz	最高 40kHz
PWM デッド タイム	ユーザー定義	ハードウェア R _{DT} 設定でのデフォルト 370ns
温度範囲	-40°C~85°C	FET の放熱のために適切なヒートシンクとエアフローが必要な場合あり
保護機能	短絡保護	R _{VDSLVL} のデフォルト設定を使用。表 2-1 も参照
	貫通電流保護	自動デッド タイム挿入ハンドシェイク
	温度保護機能	過熱を通知する温度センサを PCB に装着。
	UVLO	4.8V で統合
PCB 温度検出の範囲と精度	-40°C~150°C	TMP6131 ±1%、10kΩ リニア サーミスタを使用
コントローラ インターフェイス信号	PWM、I-V センシング、PWM バッファ、ゲートドライバ イネーブル、フォルト用の 3.3V I/O	テキサス・インスツルメンツの BoosterPack™ と互換性あり、3.3V の信号レベルをサポート。 セクション 3.1.2 のピン割り当てを参照。
インジケータ LED	電源レールとユーザー定義	3.3V、12V、V _{IN} 入力、1 つはユーザー ソフトウェア制御用
PCB 層構成	8 層、70μm の銅箔	2 オンスの銅箔
フォーム ファクタ	80mm × 98mm	3150mil × 3860mil

2 システム概要

2.1 ブロック図

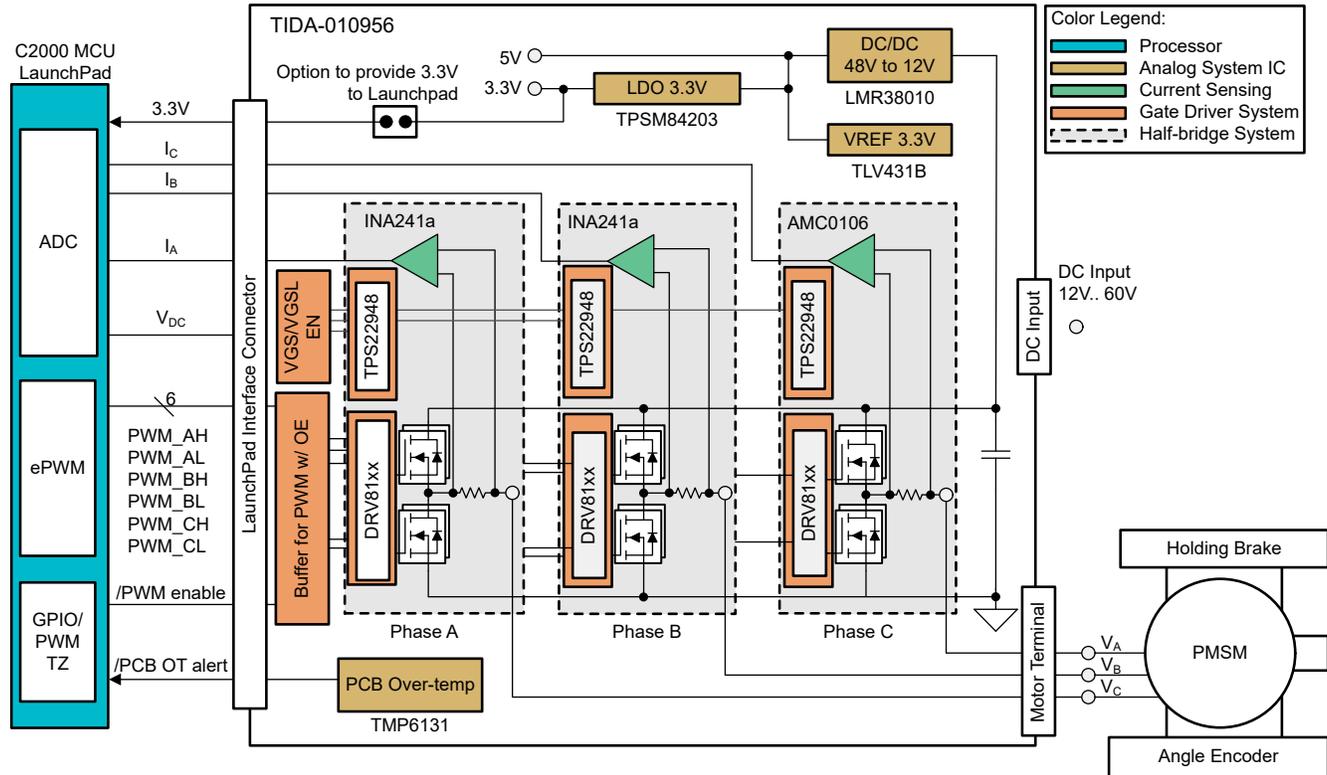


図 2-1. TIDA-010956 のシステムブロック図

2.2 設計の考慮事項

2.2.1 ハードウェア設計

2.2.1.1 出力段ゲートドライバ

2.2.1.1.1 ゲートドライバ

DRV8162L は、ハーフブリッジ構成で 2 つの N-CH パワー MOSFET を駆動するために使用されます。このデバイスは、最大でソース 1A、シンク 2A の 16 レベルのゲート駆動ピーク電流をサポートします。このリファレンス デザインでは、出力段で最高のスイッチング性能を実現できるように、ゲートドライブ電流が最適化されています。

2.2.1.1.2 保護機能

電力段の過電流イベントは、DRV8162L を使用して、FET のドレイン - ソース間の電圧降下 V_{DS} を測定することにより検出します。DRV8162L の過電流トリップ スレッショルドは、13 レベルのスレッショルド オプションを持つストラップ抵抗を使用して設定できます。これらの値は、DRV8162L データシートの「電気的特性」セクションにある「保護回路」に変数 V_{DS_LVL} として記載されています。最小値は 100mV、最大値は 2.0V です。

この機能とともにブランキング時間を使用して、FET のスイッチング中にオーバーシュートが検出されないようにすることもできます。

保護機能の詳細については、DRV8162L データシートの「ゲートドライバ保護回路」を参照してください。

2.2.1.1.3 V_{GVDD} の定義

DRV8162L には、ハイサイドおよびローサイド動作に 2 つの電源ピン (V_{GVDD} および V_{GVDD_LS}) があります。ハイサイド電源電圧 V_{GVDD} は 5V~20V の範囲で使用でき、ローサイド電源電圧 V_{GVDD_LS} はさらに低い最小 3.5V まで使用できます。これらの値は、[DRV8162L](#) データシートの電気的特性セクションに V_{GVDD} 変数として記載されています。

通常、このデザインでは、選択した FET の最高性能を実現するため、 V_{GVDD} と V_{GVDD_LS} は 12V に設定されています。

FET を選択する際は、 V_{GS} と $R_{DS(ON)}$ の値を知っておくことが重要です。FET のこれらのパラメータは、システム全体の効率に大きく影響します。

2.2.1.1.4 ストラップ機能

DRV8162L を使用してアプリケーション回路を設計する場合、ストラップ抵抗を使用して次のパラメータを調整できます。

- 駆動能力
- デッドタイム
- 制御モード
- V_{DS} 過電流スレッシュホールド

2.2.1.2 出力段 FET

このシステムの目標電力定格に対して、システムのニーズを満たす FET を選択することが重要です。このデザインでは、大電流の要件を満たすために、2 個の FET を並列接続することを選択しました。

2.2.1.2.1 V_{GS} と $R_{DS(ON)}$ との関係

特定の V_{GVDD} 電圧と V_{GVDD_SL} 電圧の選択によって、オン状態 V_{GS} 、またはアプリケーションに含まれる FET の実際のゲート電圧 High レベルを定義できます。

この値を使用して、与えられた電圧における FET の $R_{DS(ON)}$ を求めることができます。 $R_{DS(ON)}$ は、DRV8162L の過電流トリップレベルを定義するために必要です。

これらの考慮事項から、選択された FET の計算を[表 2-1](#)に示します。このデザインは、低 $R_{DS(ON)}$ を実現し、大電流出力を可能にするため、2 個の並列 FET を実装しています。計算にはオームの法則を使用しています。

表 2-1. FET NTMTSC1D6N10 V_{DS} に対する DRV8162 の過電流トリップレベル

パラメータ	NTMTSC1D6N10		2 × NTMTSC1D6N10	
I_D	267A		534A	
I_{DM}	900A		1800A	
Q_G	106nC		212nC	
接合部温度	25°C	125°C	25°C	125°C
$R_{DS(ON)}$ @ $V_{GS} = 10V$	1.42mΩ	2.50mΩ	0.71mΩ	0.88mΩ
TRIP LEVEL1-0:0.15V	106A	60A	211A	120A
TRIP LEVEL1-1:0.2V	141A	80A	282A	160A

高速スイッチング FET の場合、回路のリングングを抑制するため、テストとデバッグのオプションとして、必要に応じて各ハーフブリッジに RC スナバ ネットワークを選択しました。今回のテストでは、このステップは必要ありませんでした。

2.2.1.3 相電流および電圧センシング

システムのテスト用に選定したコントローラ MCU の ADC コンバータは、3.3V の最大入力電圧に対応しています。そのため、測定電圧を 0V~3.3V の範囲にスケールリングすることが不可欠です。

2.2.1.3.1 相電流

同相電流センス用のシャントを搭載したアンプは、ADC コンバータの入力電圧に対応するため、電流センスの範囲を 0V～3.3V の電圧範囲にスケールする必要があります。このデザインでは、同相電流の測定値が双方向であるため、計算される電圧範囲はさらに 2 倍にスケールされます。

このデザインは、ピーク時に $85A_{rms}$ または $120A_{rms}$ の定格モーター電流をサポートすることが規定されています。多少のマーヅンを確保するため、最大電流センス範囲は $165A$ に設定されています。この仕様から、このデザインには $0.2m\Omega$ 、 $8W$ のシャント抵抗、ゲインが 50 のアンプが選択されています。

式 1 を使用すると、アンプの出力電圧範囲は次のようになります。

$$V_{scale} = I_{ph} \times R_{shunt} \times G_{amp} \times 2 = 165A \times 0.2m\Omega \times 50 \times 2 = 3.3V \quad (1)$$

このデザインのテストに使用する LaunchPad™ 開発キットに合わせて、 $3.3V$ の電圧スケールが選択されています。他のハードウェアを使用する場合は、 $3.0V$ の電圧スケールを使用できます。

スケールを $3.3V$ に設定し、アンプの電圧リファレンスを設定して、 $0A$ が電圧スケールの中心点になるようにします。

また、センス抵抗の電力損失をシステムの電流を確実に維持できるレベルに抑えることも重要です。

$$P_{loss} = I_{rms}^2 \times R_{shunt} = 165A^2 \times 0.2m\Omega = 5.445W \quad (2)$$

$165A$ はフォルト条件が発生した場合に対応するためです。公称電流は $85A_{rms}$ で、電力損失はわずか $1.445W$ です。 $8W$ のシャント抵抗には十分なマーヅンがあります。

2.2.1.3.2 相電流 – バイアス電圧リファレンス

このリファレンス デザインは $3.3V$ にスケールするよう構築されているため、LAUNCHXL-F280039C 制御ボードを使用してシステムをテストしました。以下の事項も考慮されています。

- $3.0V$ と $3.3V$ の両方のリファレンス電圧をサポートできる電圧リファレンスを選定しています。このため TLV431 が使用されています。図 2-2 に回路図を示します。

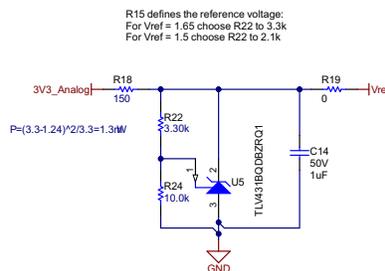


図 2-2. TIDA-010956 の TLV431 の回路図

- このリファレンス電圧回路を使用して、抵抗 $R18$ により回路に流れ込む電流の量を制御します。これは、出力電圧の安定性に影響する可能性があります。ここでは、 150Ω の抵抗が選択されています。
- 次のステップでは、適切な分圧器 ($R15$ と $R18$) を選択します。その場合、 $R18$ は $10.0k\Omega$ に固定されます。そのため $R15$ には、INA241A のバイアスリファレンスが $1.5V$ の場合は $2.1k\Omega$ 、 $1.65V$ の場合は $3.3k\Omega$ を選択できます。

2.2.1.3.3 電圧

このリファレンス デザインでは、モーターの DC 入力電圧 (V_{IN}) と 3 相電圧を測定します。これらの電圧は最大 $80V$ に達する可能性があり、ゲートドライバ用の $12V$ 電圧レールを生成するために使用される降圧コンバータ LMR38101 で制限されています。

このデザインでは、電圧センス分圧器が最大センス電圧 $75V$ をサポートするように設定されています。これは、 $48V$ のシステム定格 V_{IN} に対して十分な値です。

図 2-3 に、 $75V$ 相電圧測定の回路図を示します。

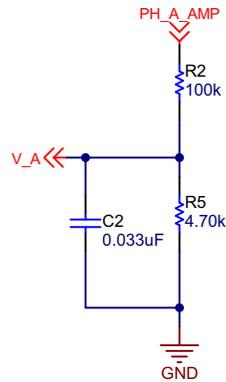


図 2-3. TIDA-010956 相電圧センス回路

計算には式 3 を使用しました。

$$R_5 = \frac{R_2 \times V_{out}}{V_{in} - V_{out}} = \frac{100k\Omega \times 3.3V}{75V - 3.3V} = 4,603\Omega \quad (3)$$

ここで、

- R₂ には 100kΩ が選択されています。

特定の分圧器には、ローパス フィルタを追加し、C₂ を使用して実行します。

式 3 のモーターの相電圧と V_{IN} 電圧の測定値には、V_{IN} = 75V、V_{out} = 3.3V、R₂ = 100kΩ を使用しました。これは、R₅ = 4603Ω であることを意味します。このため、4700、1% の抵抗を選択しました。

2.2.1.4 ホストプロセッサインターフェイス

プロセッサ インターフェイスは、J1 と J2 の 2 つのヘッダを使用して LAUNCHXL-F280039C と組み合わせることで動作するように設計されています。

2.2.1.5 ゲートドライブのシャットダウン パス

ハーフブリッジ ゲートドライバ DRV8162L には V_{GVDD} および V_{GVDD_LS} の分割電源機能があるため、3 相ゲートドライバのハイサイド出力とローサイド出力を個別のパスでシャットダウンするオプションがあります。このリファレンス デザインには回路例が実装されています。

システムには、V_{GVDD} および V_{GVDD_LS} 電源それぞれに、2 つの負荷スイッチ (U12 および U14、TPS22810DRVR) が組み込まれています。DRV8162L の内部では、ローサイドドライバ回路への電力供給には V_{GVDD_LS} が使用され、ハイサイドのブートストラップ回路への電力供給には V_{GVDD} が使用されます。

システムには、2 つの PWM パッファとレベル シフタ チップ (U13 および U15、TXU0304BQA) の 3.3V 電源用に、特定のロード スイッチ (U9、TPS22948DCKT) を使用した 3 番目のシャットダウン パスが組み込まれています。両方のデバイスの出力イネーブル (OE) ピンは、システム制御 MCU の GPIO 出力 (ホスト プロセッサ インターフェイスの J2-Pin18) を供給するか、または光エミュレータ アインソレータ (U10 または U11、ISOM8710DFF) 経由で外部入力信号を供給するよう構成できます。

2.2.1.6 システム診断測定

2.2.1.6.1 温度測定

このデザインでは、温度センサ (RT1、TMP6131DYAR) を使用して、ホスト コントローラで単に 3 相出力をオフにするか、Q3 の C 相ローサイド FET のすぐ横のポイントで検出された PCB の温度が高すぎる場合に包括的な出力制御を実行するオプションを提供します。

2.2.1.7 システムの電源

前の章で説明したように、DRV8162L スマート ゲートドライバには、ハイサイド (V_{GVDD}) とローサイド (V_{GVDD_LS}) にそれぞれ分割電源があります。どちらにも、U12 または U14 ロード スイッチを介して 12V の中間電源レールから電力が供給されます。したがって、パワー MOSFET に印加される実際の V_{GS} 電圧は、12V 電源レールの影響を受ける可能性があります。

2.2.1.7.1 12V レール

3 相の DRV8162L ゲートドライバ用の 12V 中間電源レールを生成するため、4.2V~80V 入力同期整流降圧コンバータ LMR38010 (U7) を使用し、R47 = 25.5k Ω を使用して 1MHz で動作するように構成します。

降圧コンバータ (U7) は、最大 1A の出力電流を供給できます。システムの消費電流がこの 1A の電力バジェットを確実に下回るように、負荷を計算します。

表 2-2. 12V での降圧コンバータの電流バジェット

製品番号	電圧レール	データシート記載の消費電流	ワット	12V、効率 80% での電流
DRV8162L (3 個必要)	12V	18mA (V_{GVDD})	0.648W	67.5mA
F280039C	3.3V	108mA	0.356W	37mA
合計				104.5mA

これは、12V レールには 895.5mA の出力電流容量が残っており、追加の回路を使用できることを示しています。

2.2.1.7.2 3.3V レール

このデザインでは、C2000 ホスト制御 LaunchPad と、センシング、診断、シャットダウン制御セクションを含むシステム制御回路のオンボード コンポーネントの両方に、3.3V レールから最大約 0.5A の負荷電流を供給する必要があります。

3.3V レール電源回路の入力電圧範囲については、DRV8162L データシートによれば、GVDD ピンは 5V~20V の電源電圧を受け入れることができるため、デザインがこの全範囲をカバーできるようにし、3.3V レール電源回路が V_{GVDD} を入力として直接使用できるようにするのが妥当です。

TPSM84203 の入力電圧範囲は 4.5V~28V で、最大 1.5A の出力電流を供給できます。このデバイスには、外付け部品と PCB サイズを最小限に抑えるため、いくつかの固定出力電圧オプションが用意されています。このデザインには、3.3V 出力電源が選択されています。

TPSM84203 データシートの「代表的なアプリケーション」セクションに示す回路図例に、3.3V 電圧レールを構築する方法が示されています。外付け部品として、1 つの入力コンデンサと 2 つの出力コンデンサが必要です。これらのコンデンサには、X5R または X7R セラミック コンデンサを推奨します。TPSM84203 データシートの「入力コンデンサ」セクションに、選択肢の例が示されています。

2.2.2 ソフトウェア設計

このリファレンス デザインのテストに使用したソフトウェアは、C2000Ware_MotorControl_SDK の servo_drive_with_can サンプル プロジェクトを変更したものです。このサンプル プロジェクトは、インストール フォルダにある関連資料の指示に従って、TIDA-010956 ハードウェアとの組み合わせで動作するように調整されています。

まず、アナログおよびデジタル I/O ポートの設定を変更します。C2000™ MCU からの PWM 信号が、ハイサイド FET とローサイド FET に対して正しく構成されていることを確認します。使用する LaunchPad の I/O ポートに対して、制御出力、障害フィードバック入力、ADC チャンネルがすべて正しく構成されていることを確認してください。

次に、リファレンス デザインのハードウェアとシステム制御に関連するパラメータとコードを調整します。このリファレンス デザインは、ビルド レベル 2 を使用してテスト済みです。これは、システムが開ループ構成で動作することを意味します。

C2000Ware_MotorControl_SDK から servo_drive_with_can のサンプル コードをダウンロードします。デフォルト設定を使用して SDK をインストールし、
c:\ti\c2000\c2000ware_motorcontrol_sdk_5_01_00_00\solutions\servo_drive_with_can で サンプル コードを見つけます。このパスの doc フォルダに資料も含まれています。

ソフトウェアまたは C2000Ware_MotorControl_SDK に関して質問がある場合は、C2000 マイクロコントローラ フォーラムの E2E 設計サポート フォーラムもご覧ください。

2.3 主な使用製品

2.3.1 DRV8162L

DRV816x は、ハイサイドおよびローサイドの N チャネル パワー MOSFET を駆動できる、統合型ハーフブリッジゲートドライバです。このデバイスは、GVDD 電源ピンからゲートドライブ電圧を生成し、ブートストラップ回路を使用してハイサイド FET を駆動します。トリクルチャージポンプにより 100% デューティサイクルをサポートしています。このゲートドライブのアーキテクチャは、最大でソース (供給) 1A、シンク (吸い込み) 2A のピークゲート駆動電流をサポートします。これらのデバイスを使用して、ブラシレス/ブラシ付き DC モーター、PMSM、ステッピングモーター、スイッチトリアクタンスモーター (SRM)、ソレノイドなど、各種の負荷を駆動できます。

1 ピン PWM、2 ピン PWM、および独立 FET PWM モードにより、コントローラ回路と簡単に接続でき、柔軟な FET 電力段構成が可能です。ハードウェアピンを使用して、電流センスアンプのゲイン、ゲートドライブ電流、VDS 過電流保護などのデバイス設定を構成できます。DRV8161 デバイスにはローサイド電流センスアンプが内蔵されており、電流測定情報をコントローラに送信できます。DRV8162L は、個別の GVDD ピンと GVDD_LS ピンを備えており、セーフトルクオフ (STO) 機能のシステム設計に利用できます。

低電圧誤動作防止、FET 過電流、過熱に対する保護機能が内蔵されています。nFAULT ピンは、保護機能によって検出されたフォルトイベントを通知します。

2.3.2 INA241A

INA241x は、電源電圧に関係なく、-5V~110V の広い同相範囲にわたってシャント抵抗の電圧降下を測定できる超高精度の双方向電流センシングアンプです。低いオフセット電圧 (最大値 $\pm 10\mu\text{V}$)、小さいゲイン誤差 (最大値 $\pm 0.01\%$)、高い DC CMRR (代表値 166dB) の組み合わせにより、高精度の電流測定を実現します。INA241x は、デバイスの入力で大きな同相電圧過渡が観測されるスイッチングシステムにおける高電圧双方向測定向けに設計されています。

INA241x 内部の拡張 PWM 除去回路は、入力と同相電圧の遷移により発生する出力での信号変動を最小限に抑えます。

INA241x は 2.7V~20V 単電源で動作し、消費電流は 2.5mA です。INA241x には次の 5 種類のゲイン オプションが提供されています: 10V/V、20V/V、50V/V、100V/V、200V/V。複数のゲイン オプションにより、利用可能なシャント抵抗値と広い出力ダイナミックレンジ要件の間で最適化を行えます。

INA241x は、-40°C~+125°C の温度範囲で動作が規定されています。

2.3.3 LMR38010

LMR38010 同期整流降圧コンバータは、広い入力電圧範囲でレギュレーションを行えるよう設計されており、必要な外付けサージ抑制部品を最小限に抑えています。LMR38010 は最低 4.2V の入力電圧ディップ中も動作し、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、入力範囲が広い産業用アプリケーションおよび MHEV/EV システムに最適です。

LMR38010 は、高精度イネーブルを使って幅広い入力電圧と直接接続でき、またデバイスのスタートアップとシャットダウンを精密に制御できるため、設計の柔軟性を高めることができます。内蔵のフィルタと遅延を備えたパワーグッドフラグは、システムの実際の状態を示すため、外部のスーパーバイザは不要です。このデバイスは疑似ランダム拡散スペクトラム機能を内蔵し、EMI を最小限に抑えます。また、200kHz~2.2MHz の広い範囲でスイッチング周波数を設定し、ノイズの影響を受けやすい周波数帯を避けることができます。また、効率向上のために低い動作周波数を選択することも、設計小型化のために高い動作周波数を選択することも可能です。

このデバイスには、サイクル単位の電流制限、ヒカップモード短絡保護、過剰な電力消費時のサーマルシャットダウンなどの保護機能が組み込まれています。LMR38010 は、8 ピン HSOIC PowerPAD 集積回路パッケージで供給されます。

2.3.4 TMP6131

TMP61 リニア サーミスタは、全温度範囲にわたる線形性と安定した感度を備えているため、簡単かつ正確な方法で温度を変換できます。本デバイスは消費電力が低く、熱容量が小さいため、自己発熱は最小限です。

本質的に高温時にフェイルセーフ挙動を示し環境変化に耐えるこれらのデバイスは、長寿命高性能向けに設計されています。また TMP6 シリーズは、小型であるため熱源に近付けて配置でき迅速な応答が得られます。

NTC サーミスタと比較して、追加の線形化回路が不要、較正が最小限、抵抗公差の変動が小さい、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、時間およびメモリを削減できます。

TMP61 は現在、0402 X1SON パッケージ、0603 SOT-5X3 パッケージ、2 ピンのスルーホール TO-92S パッケージで供給されています。

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

3.1.1 PCB の概要

図 3-1 に、LAUNCHXL-F280039C を取り付けした TIDA-010956 PCB の上面の写真を示します。

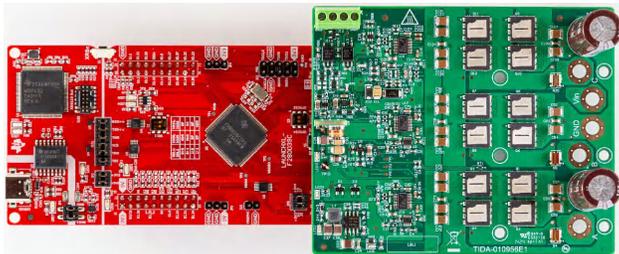


図 3-1. 基板写真(上面)

3.1.2 ハードウェアの構成

3.1.2.1 前提条件

次の表に、TIDA-010956 デザイン ガイドの評価テストに必要なハードウェア機器とソフトウェアを示します。

表 3-1. 前提条件

装置	備考
TIDA-010956	デザイン フォルダから入手可能
TMS320F280039C C2000™ リアルタイム マイコン向け LaunchPad™ 開発キット	LAUNCHXL-F280039C から入手可能
Code Composer Studio™ 統合開発環境 (IDE) バージョン 12	CCSTUDIO からダウンロード
C2000Ware_MotorControl_SDK	C2000WARE-MOTORCONTROL-SDK からダウンロード。
モーター	デザインの電圧レベルと電流レベルをサポートする必要あり
電源	デザインの電圧レベルと電流レベルをサポートする必要あり

3.1.2.2 デフォルトの抵抗およびジャンパ構成

TIDA-010956 基板を使用する前に、抵抗設定が正しいことを確認してください。表 3-2 に、抵抗のデフォルト設定を示します。LAUNCHXL-F280039C のジャンパは、JP1 を取り外して、PC の USB ポートからの 5V 電源を遮断します。このリファレンス デザインでは、デフォルト設定の R29 により、MCU コントローラ基板に 3.3V 電源レールを直接供給します。

表 3-2. デフォルトの抵抗およびジャンパ設定

ヘッドおよび抵抗	ジャンパ設定
R51, R58	外部シャットダウン入力信号に対してアイソレータをディセーブルする抵抗
R54, R56	PWM ディセーブル機能のロード スイッチを駆動するシャットダウン パスを定義する抵抗
R61, R63	ハイサイド ゲートドライバ ディセーブル機能のロード スイッチを駆動できるシャットダウン パスを定義する抵抗
R67, R69	ローサイド ゲートドライバ ディセーブル機能のロード スイッチを駆動できるシャットダウン パスを定義する抵抗
R29	3.3V オンボードで LAUNCHXL-F280039C に電力を供給するための 0Ω 抵抗。使用前に LaunchPad の JP1 を取り外してください。
R83, R86, R98, R101, R111, R114	DRV8162L のゲートドライブ電流を 3 相で構成するための抵抗。デフォルト設定は、IDRIVE1 と IDRIVE2 の両方とも LEVEL0 です。
R84, R99, R112	DRV8162L の V _{DS} 監視レシジョンレベルを構成するための抵抗。デフォルト設定は LEVEL1 です。
R85, R100, R113	デッドタイムを設定するための DT/MODE ピン外の抵抗。デフォルト設定は LEVEL3 です。

3.1.2.3 コネクタ

3.1.2.3.1 ホストプロセッサインターフェイス

表 3-3 に、TIDA-010956 リファレンス デザインで C2000 LaunchPad との通信に使用する信号を示します。

表 3-3. J1 および J2 ホストプロセッサインターフェイスのピン配置

LAUNCHXL-F280039C				TIDA-010956			
J5	J7	J8	J6	J1		J2	
3.3V	5V ⁽²⁾	PWM7A	GND	3.3V	NC ⁽²⁾	PWM_CH	GND
ADCINC1 ⁽²⁾	GND	PWM7B	GPIO27 ⁽²⁾	NC ⁽²⁾	GND	PWM_CL	NC ⁽²⁾
GPIO15	ADCINB11	PWM4A	GPIO47	LED4	Vbus ⁽¹⁾	PWM_BH	フォルト
GPIO56 ⁽²⁾	ADCINA10、 ADCINB1、 ADCINC10	PWM4B	GPIO57 ⁽²⁾	NC ⁽²⁾	V_C ⁽¹⁾	PWM_BL	NC ⁽²⁾
GPIO56 ⁽²⁾	ADCINA5	PWM5A	XRSn ⁽²⁾	NC ⁽²⁾	V_B ⁽¹⁾	PWM_AH	NC ⁽²⁾
ADCINA9 ⁽²⁾	ADCINA4、 ADCINB8	PWM5B	SD2_D3 ⁽²⁾	NC ⁽²⁾	V_A ⁽¹⁾	PWM_AL	DAT_PhC ⁽¹⁾
GPIO58 ⁽²⁾	ADCINB4、 ADCINC8 ⁽²⁾	GPIO21 ⁽²⁾	SD2_C3 ⁽²⁾	NC ⁽²⁾	NC ⁽²⁾	NC ⁽²⁾	SD_CLK ⁽¹⁾
GPIO4	ADCINB5	EPWM1B ⁽²⁾	GPIO20	VDSLVLCC	I_B ⁽¹⁾	SD_CLK ⁽¹⁾	EN_DRV
GPIO18	ADCINA12、 ADCINC5	EPWM2A ⁽²⁾	GPIO26	VDSLVLCCB	I_A ⁽¹⁾	CLK_PhC ⁽¹⁾	PWM_EN
GPIO19	ADCINA0、 ADCINB15、 ADCINC15	GPIO40 ⁽²⁾	GPIO25 ⁽²⁾	VDSLVLCA	Temperature ⁽¹⁾	NC ⁽²⁾	NC ⁽²⁾

(1) イタリック体で記載されている信号は、このデザインではまだテストされていません。

(2) 灰色の記号は、TIDA-010956 デザインで未接続または予約されているピンを示します。

3.2 テスト構成

表 3-4 に、TIDA-010956 のテスト セッションで使用した機器を示します。

表 3-4. DRV8162L の設定

試験装置	部品番号
オシロスコープ	Tektronix DPO3054
プローブ	Tektronix TPP0200
電流プローブ	CYBERTEK CP8500A
PMSM モーター	GLOBE6440
電源	Agilent 6030A、ITECH IT6724H

各種テストで、表 3-4 に説明されている機器の一部が使用されました。図 3-2 に、システムのテスト構成を示します。

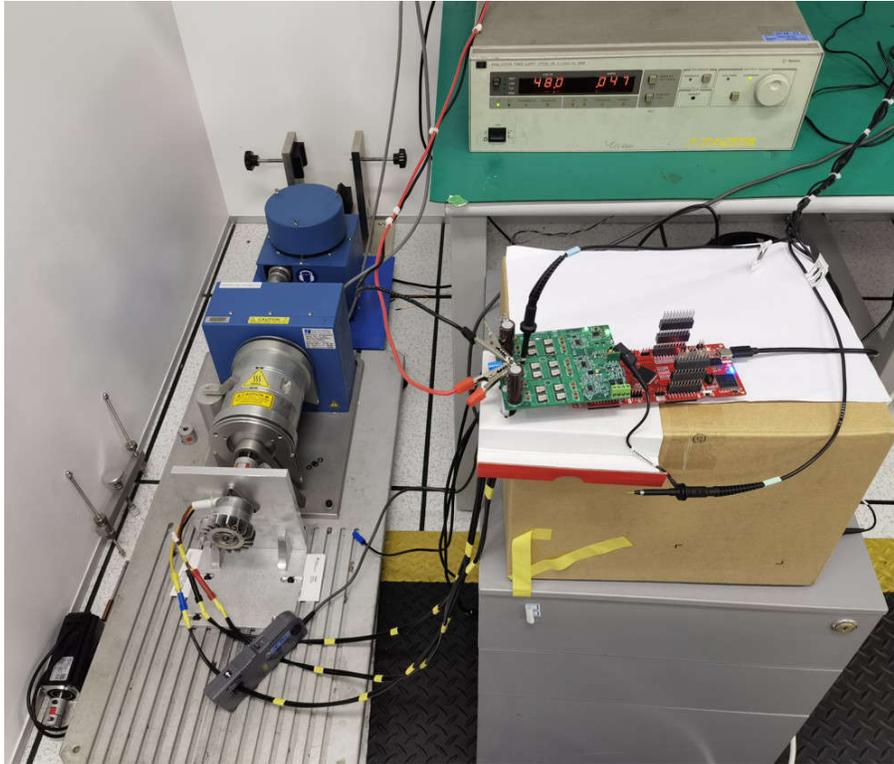


図 3-2. TIDA-010956 システムのテスト構成

特に記述のない限り、DRV8162L チップは、テスト中 表 3-5 に示すように構成しました。

表 3-5. DRV8162L の設定

IDRIVEP	1024mA	IDRIVE1 = LEVEL0 ($V_{IDRIVE1} = 0k\Omega$) および IDRIVE2 = LEVEL0 ($V_{IDRIVE2} = 0k\Omega$)
IDRIVEN	2048mA	
VDSLVL	LEVEL1-0:0.15V または LEVEL1-1:0.2V	LEVEL1 ($R_{VDSLVL} = 2k\Omega$)
DEAD_TIME	370ns デッドタイム	LEVEL3 ($R_{DT} = 3.3k\Omega$)

テストでは、LAUNCHXL-F280039C の C2000™ LaunchPad を使用してシステムを制御しました。表 3-6 に、関連の MCU ソフトウェア設定を示します。

表 3-6. C2000 MCU の設定

PWM	16kHz	デッドタイム	200ns
-----	-------	--------	-------

各種テストで異なる構成を使用しました。これらについては、関連するテストのセクションに記載しています。

3.3 テスト結果

各機能ブロックと基板全体を特性評価するためにテストを実施しました。特に次のテストを行いました。

- パワー マネージメント
- 3 相電力段テスト
- 電圧と電流のセンシング テスト
- システムの熱性能

テストは 28°C前後の室温で行いました。

3.3.1 パワー マネージメント

このセクションでは、TIDA-010956 のパワーアップ シーケンスとパワーダウン シーケンスを示します。測定は、[図 3-3](#) に示すプロセスで行いました。

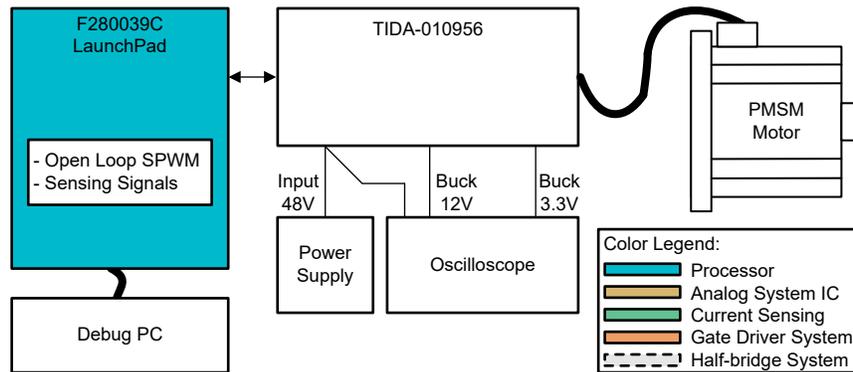


図 3-3. TIDA-010956 の電圧レール用テスト構成の図

3.3.1.1 パワーアップ

[図 3-4](#) に、TIDA-010956 のパワーアップ シーケンスを示します。

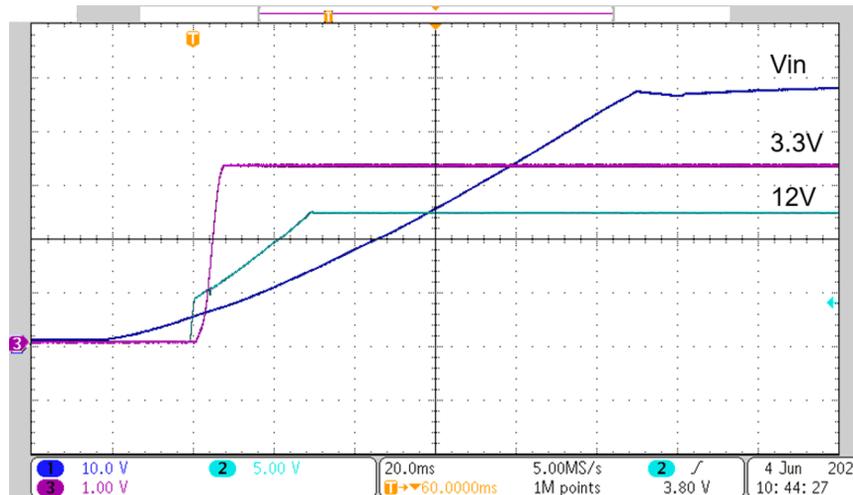


図 3-4. TIDA-010956 のパワーアップ シーケンス

システムのパワーアップ シーケンスは次のとおりです。48V の V_{IN} (CH1、濃い青色) が約 5V を上回ると、LMR38010FDDAR が 12V レール (CH2、水色) に電源を供給し始めます。この 12V レールが約 5V になると、3.3V レール (CH3、紫色) がイネーブルになります。

VDC バス コンデンサの充電中、 V_{IN} はゆっくりと上昇します。VDC バス コンデンサは主に $330\mu\text{F} \times 2 + 2.2\mu\text{F} \times 20$ で、合計は $700\mu\text{F}$ を超えます。コンデンサ基板を採用する場合は、さらに $180\mu\text{F} \times 20 = 3.6\text{mF}$ を追加する必要があります。

3.3.1.2 パワーダウン

パワーダウン プロセス中、 V_{IN} が $700\mu\text{F}$ を超える容量を放電する必要があるため、 V_{IN} のランプダウンも低速になります (図 3-5 を参照)。

V_{IN} が約 7V まで低下すると、 12V レールがパワーダウンを開始します。この 12V レールが約 4V に達すると、 V_{IN} によって 3.3V レールがシャットダウンされます。その後、コンデンサの残りの容量がゆっくり放電されます。

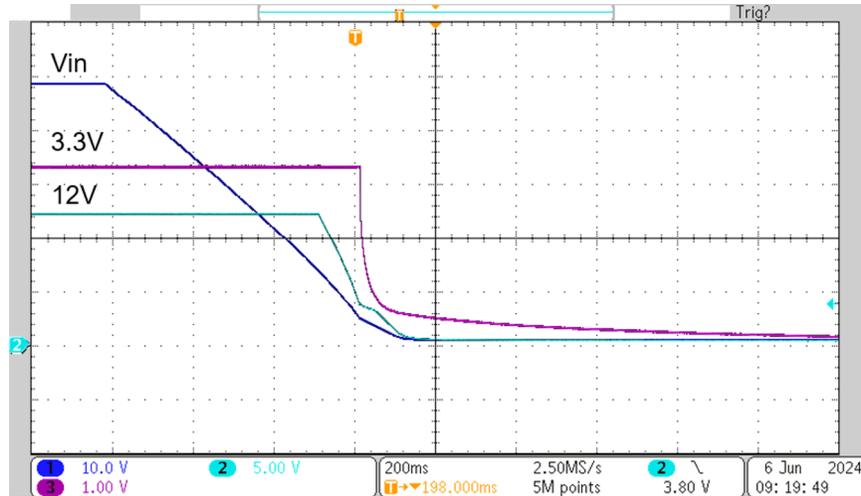


図 3-5. TIDA-010956 のパワーダウン シーケンス

表 3-7 に、さまざまなシステム ステータスにおける 12V レールの電流を示します。

表 3-7. さまざまなシステム ステータスにおける 12V レールの電流

測定	システム ステータス	12V レールの電流
電流 (mA)	アイドル (ゲートドライバがディセーブル)	73.5
電流 (mA)	16kHz PWM	125.4

注

このデザインでは、C2000 LaunchPad には、デフォルトで TIDA-010956 により 0Ω の抵抗 (R29) を介して 3.3V 電源で電力を供給することを想定しています。 V_{IN} を印加する前に、LAUNCHXL-F280039C の JP1 (PC USB から 5V 電源) を取り外します。

3.3.2 ゲート電圧と相電圧

スイッチ ノードのゲート電圧と相電圧を測定するため、以下の測定を行いました。図 3-6 にテスト構成を示します。

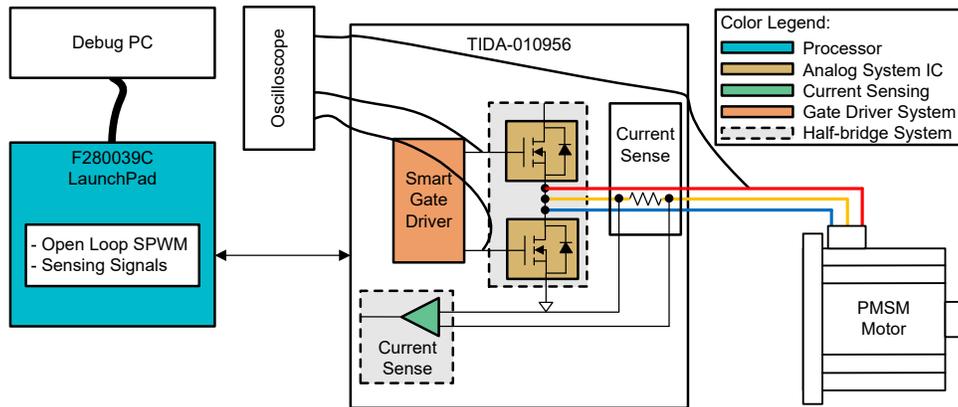


図 3-6. ゲート電圧およびスイッチ ノード電圧測定用のテスト構成

これらのテストでは、印加されている VDC は 48V であり、開ループ ベクトル制御を使用してモーターを固定角度に設定しました。信号は相 B で測定しました。これには、ローサイド MOSFET のゲート電圧 (CH1、濃い青色)、相のスイッチ ノード電圧 (CH2、水色)、出力電流 (CH4、緑色) が含まれます。どちらの電圧も GND を基準としており、相電流はドライブ からモーターへの流れを正方向とします。

セクション 3.3.2.1、セクション 3.3.2.2、およびセクション 3.3.2.3 の測定値は、電流を正の値と負の値の両方に設定した場合の相のシフトを示しています。ローサイド MOSFET のソフト スイッチングとハード スイッチングの 4 つの構成すべてを測定しました。

3.3.2.1 20 VDC

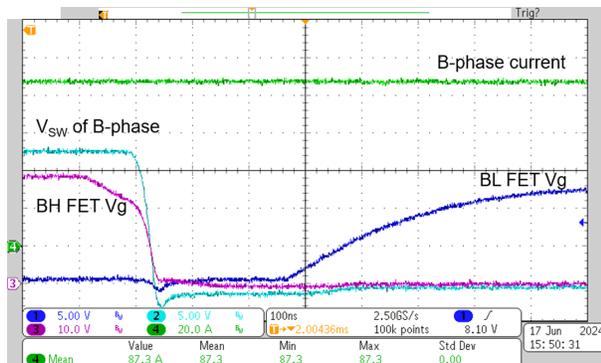


図 3-7. ハード スイッチング、
相電流 20V、87.3A

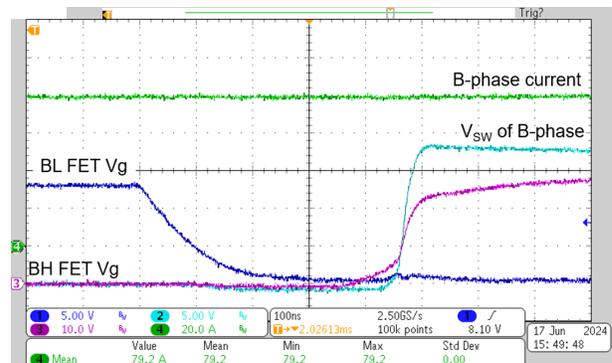


図 3-8. ソフト スイッチング、
相電流 20V、79.2A

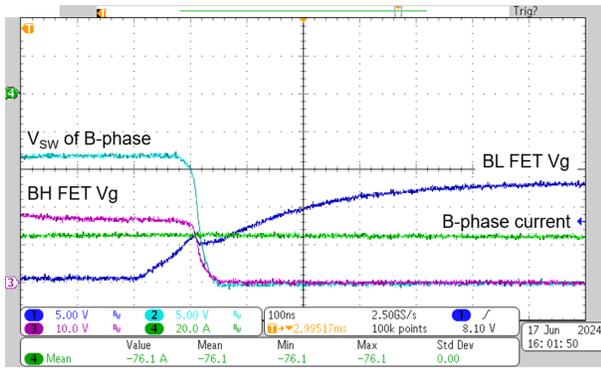


図 3-9. ソフトスイッチング、
相電流 20V、-76.1A

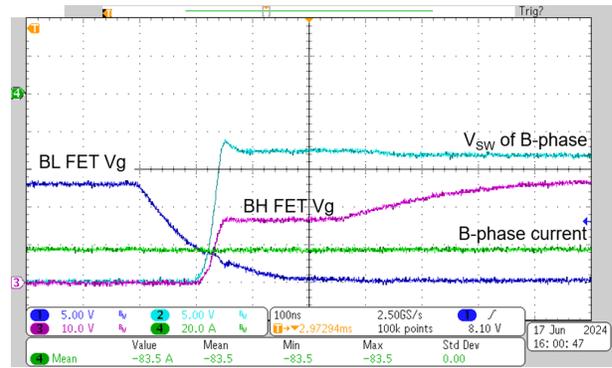


図 3-10. ハードスイッチング、
相電流 48V、-83.5A

3.3.2.2 48 VDC

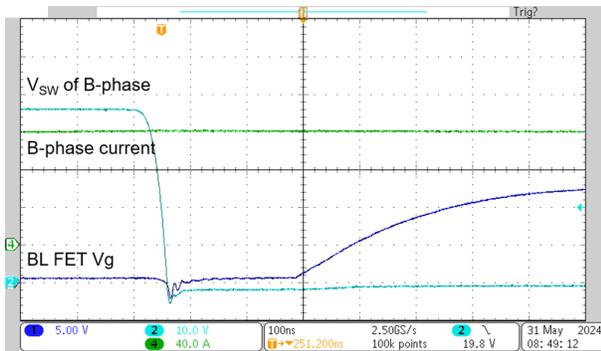


図 3-11. ハードスイッチング、
相電流 48V、120A

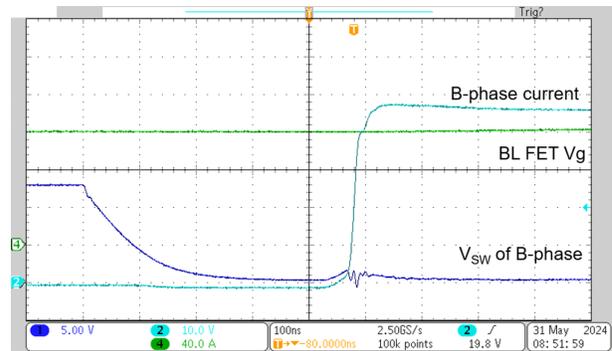


図 3-12. ソフトスイッチング、
相電流 48V、120A

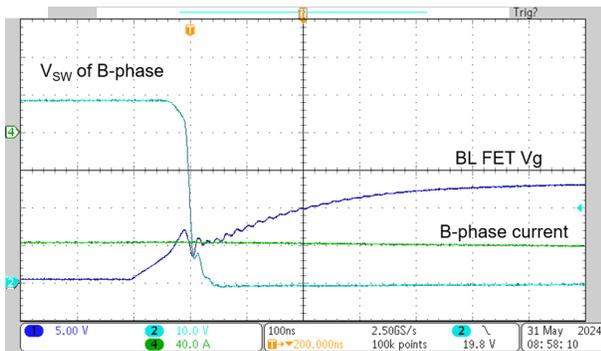


図 3-13. ソフトスイッチング、
相電流 48V、-120A

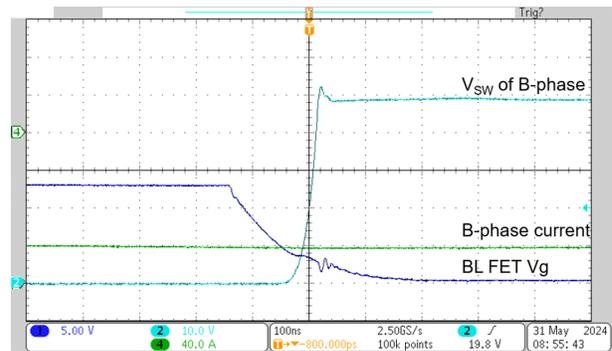


図 3-14. ハードスイッチング、
相電流 48V、-120A

3.3.2.3 60 VDC

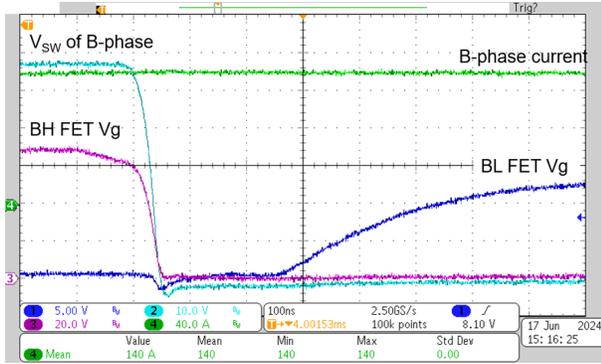


図 3-15. ハードスイッチング、
相電流 60V、140A

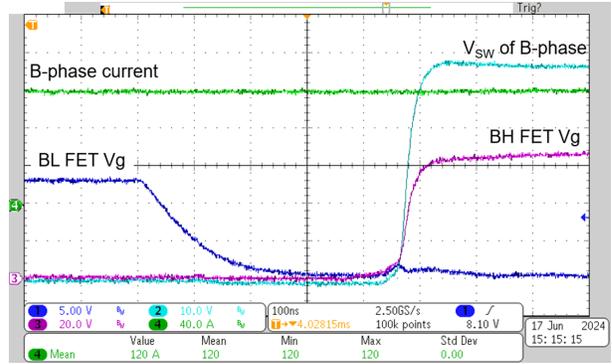


図 3-16. ソフトスイッチング、
相電流 60V、120A

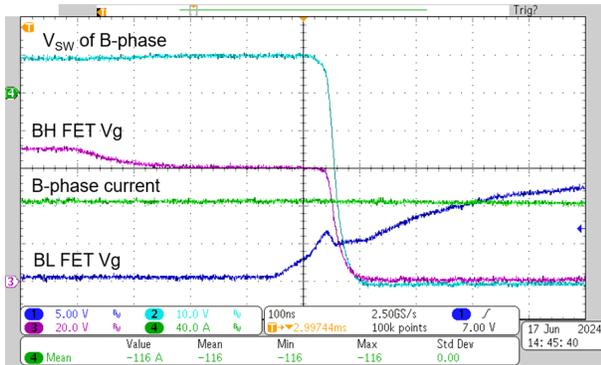


図 3-17. ソフトスイッチング、
相電流 60V、-116A

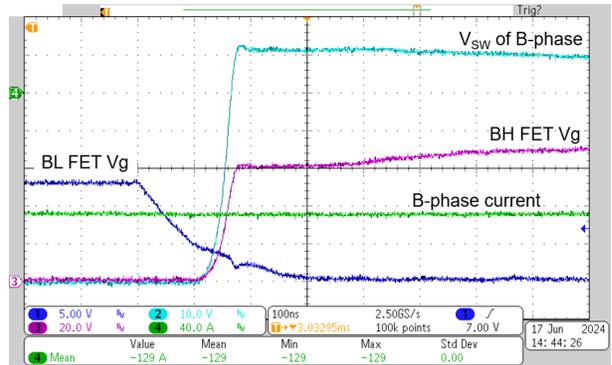


図 3-18. ハードスイッチング、
相電流 60V、-129A

3.3.3 デジタル PWM およびゲート電圧

これらのテストでは、まずローサイドチャンネルで PWM 信号と MOSFET ゲート電圧の間の伝搬遅延を測定し、次にハイサイドとローサイドのデジタル PWM 間のデッドタイムと MOSFET のゲート電圧を測定しました。図 3-19 にテスト構成を示します。

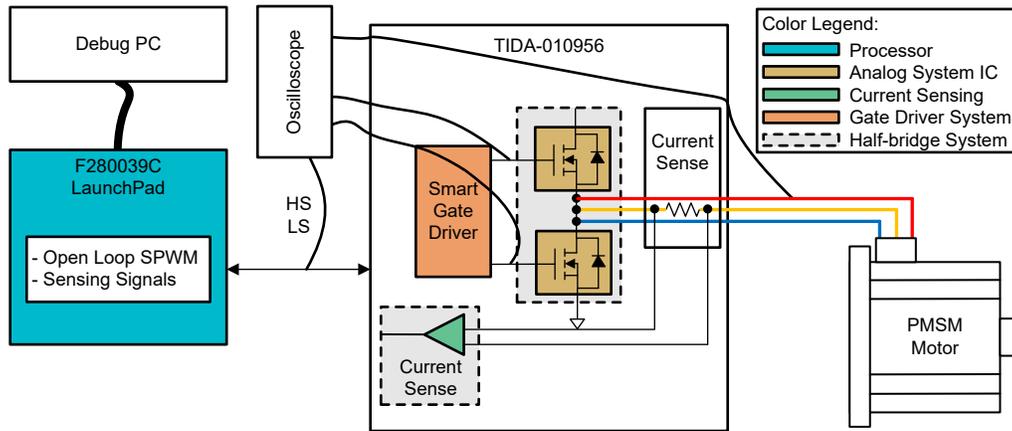


図 3-19. デジタル PWM およびゲート電圧測定用のテスト構成

これらのテストでは、システムに 48V の V_{IN} を使用し、開ループ制御を使用してモーターを固定角度に設定しました。信号は相 C で測定し、すべての信号は GND を基準としています。

図 3-20 および図 3-21 に、ターンオン時 / ターンオフ時の伝搬遅延を示します。

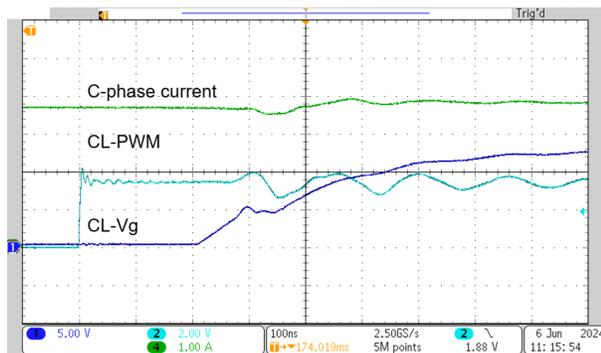


図 3-20. ターンオン時の伝搬遅延

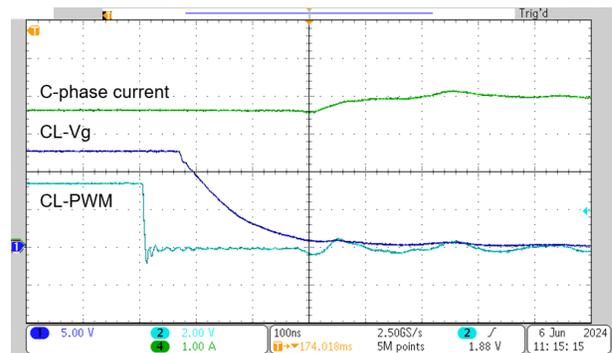


図 3-21. ターンオフ時の伝搬遅延

ターンオン時の遅延の測定値は約 200ns、ターンオフ時の遅延の測定値は約 70ns でした。ターンオン時の遅延は、DRV8162L で DT ピンと GND の間に 3.3kΩ R_{DT} を接続して追加のデッドタイムを導入しているため、約 130ns 長くなっています。

図 3-22 と図 3-23 に、PWM 信号の 200ns のデッドタイムと、ハーフブリッジが Low から High にスイッチングしているときの (CL は CH2、CH は CH3) 対応するゲート電圧を示します。

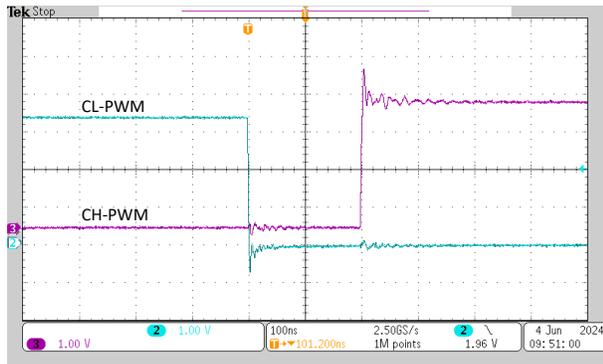


図 3-22. 正のシフト時の PWM 入力、DT = 200ns

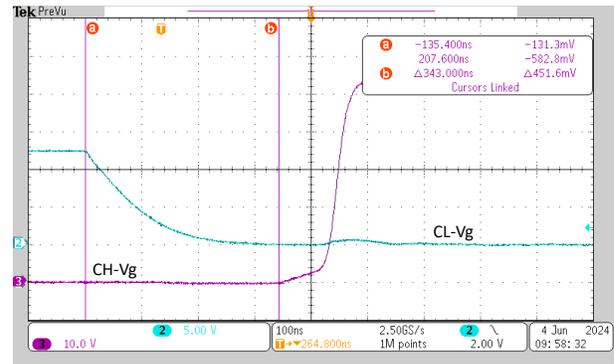


図 3-23. 正のシフト時のゲート電圧、DT = 343ns

ハイサイド ゲート電圧とローサイド ゲート電圧間のデッドタイムは、DRV8162L により約 340ns に延長されています。

図 3-24 と図 3-25 に、ハーフブリッジが High から Low に切り替わる様子を示します。R_{DT} 設定により、デッドタイムも約 340ns に延長されています。

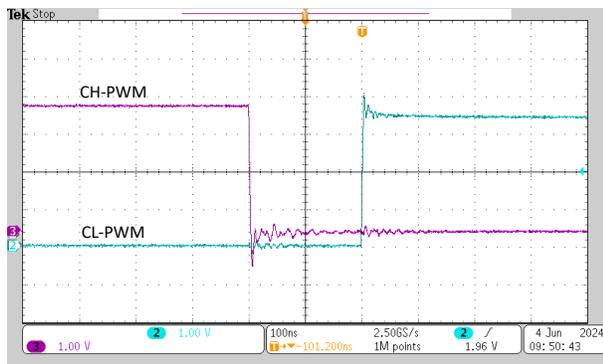


図 3-24. 負のシフト時の PWM 入力、DT = 200ns

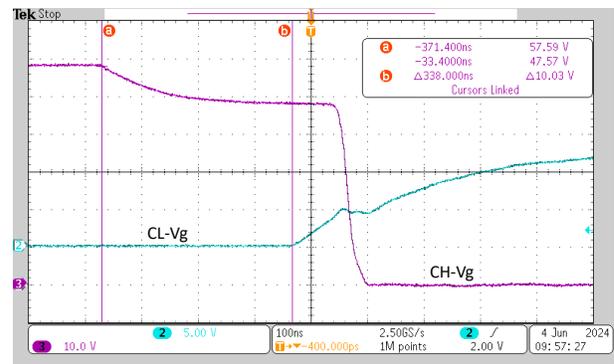


図 3-25. 負のシフト時のゲート電圧、DT = 338ns

この DRV8162L により、自動的にデッドタイムが挿入されます。挿入されるデッドタイムは、R_{DT} の値に応じて 20ns～370ns の範囲で変化させることができます。詳細については、データシートをご覧ください。

3.3.4 相電流の測定

このセクションでは、モーター制御用の開ループ回転磁界を生成する相電流の測定性能を示します。

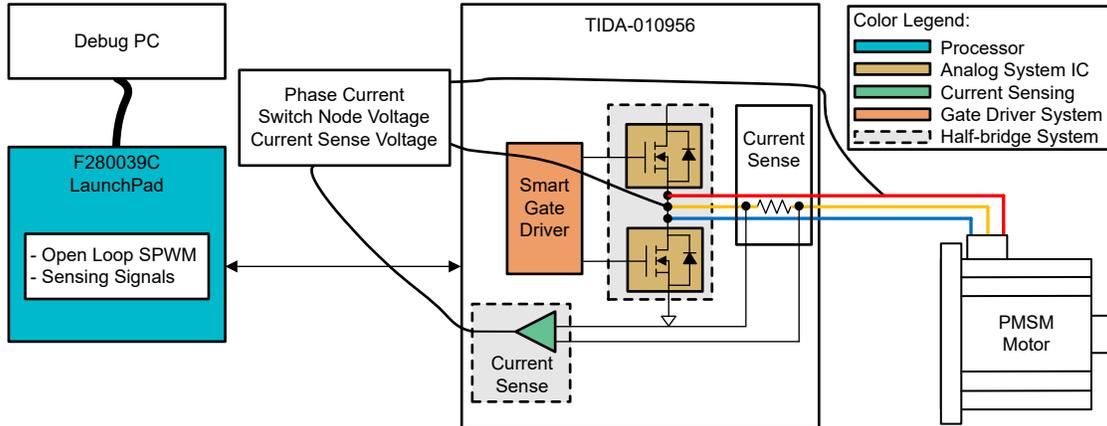


図 3-26. TIDA-010956 電流測定用テスト構成の図

図 3-27 に、B 相における INA241 のモーター電流 (CH4、緑色) と電流センス アンプ出力電圧 (CH1、濃い青色) の測定値を示します。スイッチング ノード電圧も示されています (CH2、水色)。

図 3-28 に、INA241 の正弦波に類似した波形出力を示します。システムは開ループで動作しているため、正弦波に明らかな歪みが現れています。図 3-28 に、INA241 の同相性能を示します。

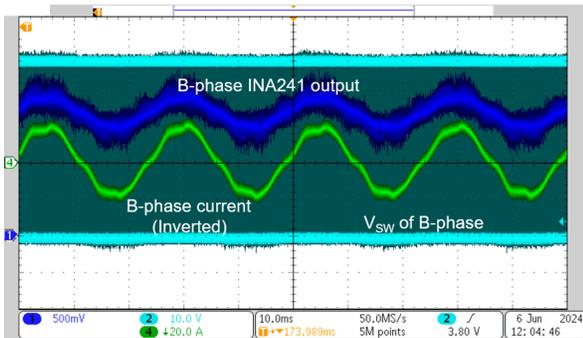


図 3-27. INA241 の出力で測定された回転電流

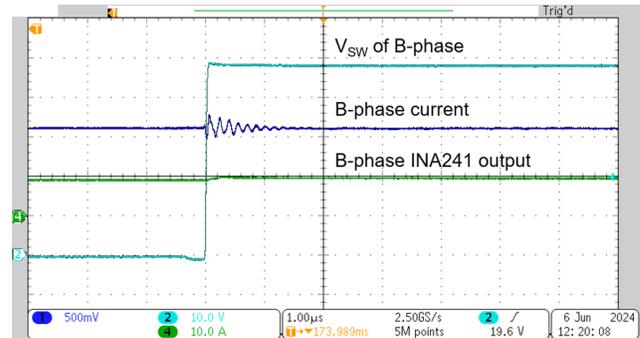


図 3-28. スイッチ点で測定された INA241 の出力

この測定値は、アンプのセトリング タイムのワーストケース シナリオを示しています。予測される最大セトリング タイムは約 1.0µs です。

3.3.5 システムのテスト結果

3.3.5.1 熱解析

このデザインの熱分析は、 V_{IN} が 48V、PWM が 16kHz の 28°C ラボ温度で実施しました。低電圧 PMSM モーターを、負荷電流 $26.2A_{rms}$ (37.0A ピーク) の正弦波相電流で駆動しました。このテストでは、ヒートシンクやファンは使用していません。図 3-29 に、基板の熱画像を示します。

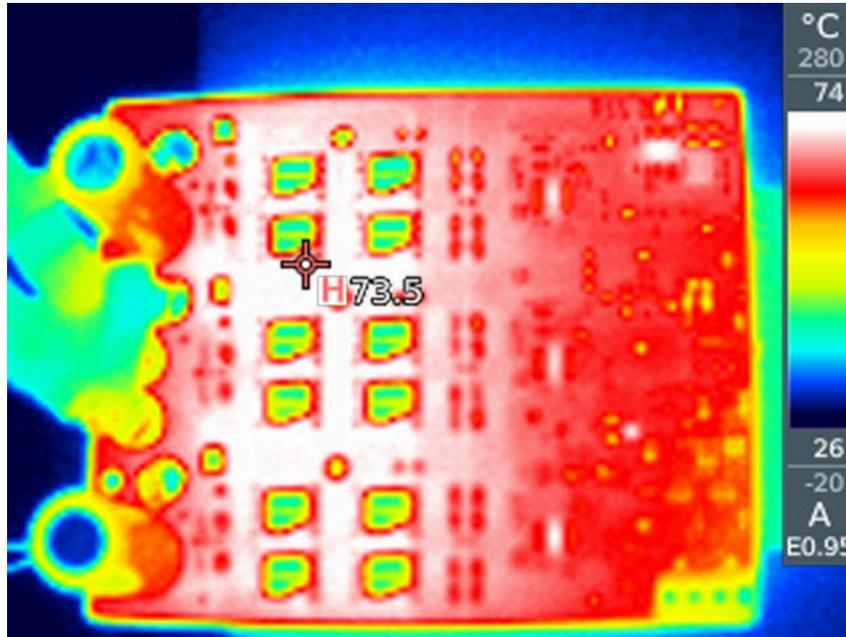


図 3-29. TIDA-010956 の $26.2A_{rms}$ 出力時の熱画像

この測定から、 $26.2A_{rms}$ では、MOSFET の温度が 45.5°C 上昇することがわかります。MOSFET の接合部温度を 125°C 未満に維持することを検討してください。現在のデザインはヒートシンクなし、 $26.2A_{rms}$ 、最大 79.5°C の周囲温度という条件でも動作できます。大電流または高い周囲温度の条件では、ヒートシンクと冷却ファンが必要になることがあります。

4 設計とドキュメントのサポート

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-010956](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.2 BOM

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-010956](#) 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

ツール

[LAUNCHXL-F280039C](#) C2000™ リアルタイム MCU F280039C LaunchPad™ 開発キット

ソフトウェア

[C2000WARE-MOTORCONTROL-SDK](#) C2000™ MCU 向けモーター制御ソフトウェア開発キット (SDK)

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、[『DRV816x 保護機能および電流センス アンプ搭載、100V ハーフブリッジ スマート ゲートドライバ』データシート](#)
2. テキサス・インスツルメンツ、[『INA241x 拡張 PWM 除去機能搭載、-5V~110V、双方向、超高精度電流センス アンプ』データシート](#)
3. テキサス・インスツルメンツ、[『TMP61 0402 および 0603 パッケージ オプション付き ±1% 10kΩ リニア サーミスタ』データシート](#)
4. テキサス・インスツルメンツ、[『LMR38010 40μA I_Q、4.2V~80V、1A、SIMPLE SWITCHER 同期整流降圧パワー コンバータ』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。

4.5 商標

C2000™, E2E™, BoosterPack™, LaunchPad™, Code Composer Studio™, 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。

5 著者について

KRISTEN MOGENSEN は、テキサス・インスツルメンツの産業システム - ロボット チームに属するシステム エンジニアであり、機能安全、通信、モータードライブに重点を置いたロボット システム関連技術資料の作成を担当しています。

JEROME SHAN は、テキサス・インスツルメンツの産業システム - モータードライブ チームのシステム エンジニアであり、産業用モータードライブ向け技術資料の作成を担当しています。

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 © 2024, Texas Instruments Incorporated

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